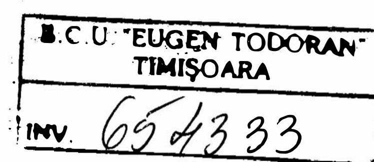


EDITOR CONSULTANT: JOHN GRIBBIN

SCURTĂ ISTORIE A ȘTIINȚEI





A BRIEF HISTORY OF SCIENCE
Consultant Editor John Gribbin

First published in 1998 by WEIDENFELD & NICOLSON LTD
The Orion Publishing Group, 5 Upper St. Martin's Lane, London WC2H 9EA

SCURTĂ ISTORIE A ŞTIINŢEI

Traducere: Daniela Slavu

Descrierea CIP a Bibliotecii Naţionale a României
GRIBBIN, JOHN
Scurtă istorie a ştiinţei John Gribbin ; trad.: Daniela Slavu. - Bucureşti : ALL Educational, 2008
Index
ISBN 978-973-684-703-5

I. Slavu, Daniela (trad.)

5

Editura ALL Educaţional	Bd. Constructorilor nr. 20A, sector 6, cod 060512, Bucureşti Tel.: 402.26.00 Fax: 402.26.10
Departamentul difuzare:	Tel.: 402.26.30, 402.26.34
Comenzi la:	comenzi@all.ro www.all.ro
Redactor:	Daniela Slavu
Coperta	Alexandru Novac

Cuprins





Ştiinţa acum

INTRODUCERE



Dacă aţi putea să-i oferiţi lui Aristotel un tratat ştiinţific din zilele noastre, l-aţi uimi foarte tare. Aristotel este o personalitate enciclopedică, un intelect al tuturor timpurilor. Totuşi, nu numai că puteţi şti mai multe despre lume decât ştia el, ci chiar puteţi avea o înţelegere mai profundă a modului cum funcţionează toate lucrurile. Aveţi acelaşi privilegiu fiindcă trăiţi după Newton, Darwin, Einstein, Planck, Watson, Crick şi colegii lor.

Asta nu înseamnă că sunteţi mai inteligent sau mai înţelept decât Aristotel. Din câte ştim, Aristotel a fost cea mai inteligentă persoană care a trăit vreodată, însă este important că ştiinţa este cumulativă, iar noi ne bucurăm de aceste acumulări.

Aristotel a avut un cuvânt important de spus în astronomie, biologie şi fizică, dar ideile sale par ciudat de naive în zilele noastre. Însă ideile sale asupra altor subiecte sună bine, totuşi. Aristotel ar putea participa activ la un seminar modern de etică, teologie, politică sau filosofie morală – şi şi-ar aduce o contribuţie importantă. Dar dacă ar participa la un curs de ştiinţă de azi, ar fi pierdut. Nu din cauza jargonului ştiinţific, ci fiindcă ştiinţa avansează cumulativ.

Iată câteva exemple de lucruri pe care, dacă i le-aţi putea spune lui Aristotel, sau oricărui alt filosof grec, l-aţi surprinde şi subjuga – nu numai cu realităţile, dar şi cu modul elegant în care se leagă.

Pământul nu este centrul Universului. El se roteşte în jurul Soarelui – care este una dintre stele. Nu există muzica sferelor, ci elementele chimice din care este alcătuită întreaga materie se aranjează ciclic, asemănător octavelor de pe portativ. Nu există patru elemente fundamentale, ci aproximativ o sută – iar pământul, aerul, focul şi apa nu se află printre ele.

Speciile vii nu sunt tipuri izolate cu esenţe neschimbătoare. În schimb, de-a lungul unor perioade de timp prea lungi pentru ca omul să şi le poată imagina, se divid şi se combină în specii noi, care apoi continuă să se diferenţieze. În prima jumătate a timpului geologic al planetei noastre, strămoşii noştri au fost bacteriile. Şi acum, cele mai multe creaturi de pe Pământ sunt tot bacteriile, iar fiecare dintre trilioanele noastre de celule este o colonie de bacterii. Aristotel era văr de departe cu sepiile, văr ceva mai apropiat cu maimuţele cu coadă şi văr apropiat cu maimuţele fără coadă. (Mai precis, Aristotel era o maimuţă africană fără coadă, văr mai apropiat cu cimpanzeii decât sunt cimpanzeii cu urangutanii.)

Creierul nu are rolul de a răcori sângele. Este folosit pentru logică şi metafizică. Este un labirint tridimensional cu un milion de milioane de celule nervoase, fiecare întinsă ca un fir pentru a transporta mesajele sub formă de impulsuri. Dacă aţi pune cap la cap toate celulele nervoase, ar înconjura Pământul de 25 de ori. Există circa patru milioane de milioane de conexiuni în micul creier al unei cinteze şi corespunzător mai multe în creierul uman.

Dacă semănaţi cu mine, aţi avea sentimente contradictorii despre această poveste. Pe de o parte, simt mândrie că ştiu despre specii atâtea lucruri pe care Aristotel nu le ştia. Pe de altă parte, am un sentiment de jenă şi mă întreb „Oare urmaşii noştri ce ne vor spune?“.

Desigur, procesul de acumulare nu se opreşte la noi. După două mii de ani, oamenii obişnuiţi care au citit câteva cărţi i-ar putea ţine un curs lui Aristotel, sau lui Francis Crick, sau lui Stephen Hawking – despre ştiinţa în zilele noastre.

Dar oare ideile nostre despre Univers se vor dovedi a fi la fel de greşite?

Categoric, sunt multe pe care nu le ştim încă. Dar în mod sigur, convingerea noastră că Pământul este rotund şi că se roteşte în jurul Soarelui nu va fi vreodată depăşită. Numai acest lucru este destul pentru a-i deruta pe cei care, înzestraţi fiind cu minime cunoştinţe filosofice, neagă posibilitatea adevărului obiectiv: aşa-numiţii relativişti care nu văd vreun motiv de a prefera ideile ştiinţifice miturilor primitive despre lume. Nici convingerea noastră că avem strămoşi comuni cu cimpanzeii şi strămoşi mai îndepărtaţi cu maimuţele cu coadă, nu va fi vreodată depăşită, deşi detaliile cronologice se pot schimba.

Pe de altă parte, multe dintre ideile noastre sunt considerate în cel mai bun caz drept teorii sau modele, aflate printre predicţiile care, până acum, au supravieţuit testului. Fizicienii nu s-au înţeles dacă sunt condamnaţi pentru totdeauna să sape în căutarea unor mistere şi mai adânci sau dacă fizica însăşi va ajunge la în final la o supremă „teorie despre tot“, o Nirvana a cunoaşterii. Între timp, fiindcă sunt atât de multe pe care nu le ştim încă, ar trebui să proclamăm sus şi tare acele lucruri pe care le înţelegem, astfel ca să ne concentrăm atenţia asupra problemelor la care ar trebui să lucrăm.

Departe de a fi prea încrezători, mulţi savanţi cred că ştiinţa avansează numai prin dovezile care îi combat ipotezele. Konrad Lorenz a spus că speră să combată cel puţin una dintre propriile sale ipoteze în fiecare zi înainte de micul dejun. Acest lucru era absurd, mai ales venind de la marele părinte al ştiinţei etologiei, dar este adevărat că savanţii, mai mult decât alţii, îşi impresionează semenii recunoscându-şi greşelile.

PAGINA ALĂTURATĂ

Este posibil să ştim mai multe decât a ştiut vreodată Aristotel, iar cei care vin după noi vor avea şi mai multe cunoştinţe despre lume.

O influenţă formativă asupra personalităţii mele în curs de educare a fost răspunsul unui conducător vârstnic şi respectat al Oxford Zoology Department, atunci când a vizitat un lector ce contestase public teoria lui preferată. Bătrânul a ieşit în faţa sălii de conferinţe, i-a strâns mâna cu căldură lectorului şi a declarat cu un ton sonor şi emoţional: „Dragă colega, doresc să-ţi mulţumesc. Am greşit în aceşti ultimi cincisprezece ani". Iar noi, cei prezenţi, am aplaudat până ni s-au înroşit palmele. Vă puteţi imagina un politician fiind aplaudat pentru o recunoaştere publică similară?

Totuşi, există o anume ostilitate faţă de ştiinţă, ostilitate asociată cu ignoranţa deliberată. A devenit aproape un clişeu să observi că nimeni nu se laudă cu ignoranţa faţă de literatură, dar este socialmente acceptabil să te lauzi cu ignoranţa ştiinţifică şi să-ţi proclami cu mândrie incompetenţa în matematică.

Motivul este, pe de o parte, faptul că oamenii sunt suspicioşi faţă de savanţi. Desigur, oamenii acuză ştiinţa pentru armele nucleare şi alte orori similare. Totuşi, cine sunt aceia care care folosesc acele dispozitive? S-a mai spus deja, dar trebuie să spunem din nou: dacă vrei să faci rău, ştiinţa oferă cele mai puternice arme de a face rău – dar, în egală măsură, dacă vrei să faci bine, tot ştiinţa îţi pune la îndemână cele mai puternice instrumente. Dacă avem scopurile potrivite, ştiinţa ne va oferi cele mai eficiente metode de a le atinge.

Apoi, mai există concepţia că ştiinţa este plicticoasă, iar savanţii sunt nişte şoareci de bibliotecă, având o mulţime de pixuri în buzunarul de sus al halatului. Conform unui publicist şi critic de televiziune, „Ştiinţa este limitată de rezultate experimentale şi de depăşirea plictisitoare şi sârguincioasă a reperelor empirismului... Ceea ce apare la televizor este mai impresionant decât ceea ce se petrece în culise... Există stele şi stele... Unele sunt şerpuiri plicticoase, repetitive pe hârtie, altele sunt fabuloase, savuroase, provocatoare, incredibil de populare..."

Cuvintele „şerpuiri plicticoase, repetitive" este o aluzie la descoperirea pulsarilor în anul 1967, de către Jocelyn Bell şi Anthony Hewish. Jocelyn Bell Burnell a povestit la televiziune momentul uluitor în care, aflată la începutul carierei, şi-a dat seama pentru prima dată că se afla în preajma unui lucru nemaiîntâlnit până atunci din Univers. Nu doar nou sub soare, ci un nou tip de Soare, care se roteşte atât de repede încât, în loc de a necesita 24 de ore ca planeta noastră, are nevoie de un sfert de secundă. Vi se pare plictisitor?

Oare este ştiinţa prea dificilă pentru unii oameni şi de aceea li se pare ameninţătoare? Părerea mea este că ştiinţa poate fi solicitantă din punct de vedere intelectual, dar la fel pot fi şi clasicii antici, istoria şi filosofia. Pe de altă parte, nimănui nu ar trebui să-i fie greu să înţeleagă lucruri precum circulaţia sângelui şi rolul inimii de a-l pompa în organism. La un moment dat, John Carey, profesor de engleză la Universitatea din Oxford, a citat versurile lui John Donne în faţa unei grupe de treizeci de studenţi în ultimul an de la Oxford:

Knows't thou how blood, which to the heart doth flow,
Doth from one ventricle to the other go?
(Ştiţi cum sângele, ce spre inimă curge,
Ajunge dintr-un ventricul în altul?)

Carey i-a întrebat dacă ştiu cum curge sângele. Nimeni dintre cei treizeci nu a putut răspunde, deşi cineva a încercat să ghicească – probabil curge „prin osmoză". Adevărul – că sângele este pompat de la un ventricul la altul prin cel puţin optzeci de kilometri de capilare complex ramificate din corp – ar trebui să fascineze orice savant adevărat. Şi atunci, de unde lipsa lor de interes? Ar putea avea legătură cu modul în care ştiinţa este predată în şcoli?



SUS **Ştiinţa modernă se bazează pe teoriile dezvoltate de Isaac Newton în secolul XVII. El a descoperit legea gravitaţiei, legile mişcării şi folosirea calculului diferenţial şi integral. Multe dintre ideile lui au fost expuse în cartea „Pricipiile matematice ale filosofiei naturale".**



Cu ceva timp în urmă am primit o scrisoare care începea, oarecum incisiv: „Sunt un profesor de clarinet a cărui singură amintire din şcoală legată de ştiinţă este o lungă perioadă de studiu a arzătorului Bunsen". Se pare că interesul autorului faţă de ştiinţă a fost înăbuşit de obligaţia de a învăţa despre instrumentele domeniului, în loc de realizările sale.

Vă puteţi bucura de un concert de clarinet fără a trebui să ştiţi să cântaţi la clarinet. Puteţi fi chiar un critic pătrunzător şi informat fără a trebui să puteţi cânta vreo notă. În mod clar, muzica ar fi încetat să existe dacă nimeni nu ar fi învăţat să cânte, dar gândiţi-vă ce vieţi sărace ar fi avut toţi cei care ar fi abandonat şcoala gândindu-se că trebuie să înveţe să cânte la un instrument pentru a putea aprecia muzica.

Oare nu putem trata la fel ştiinţa? Da, trebuie să avem arzătoare Bunsen şi ace de disecţie pentru cei atraşi de experimente ştiinţifice avansate. Dar poate ceilalţi pot avea cursuri în care să înveţe să aprecieze ştiinţa, minunile ştiinţei, modurile de a gândi ştiinţific şi istoria ideilor ştiinţifice, în loc de a face experimente de laborator?

Pentru că ştiinţa poate fi minunată, plină de inspiraţie şi poetică. Acest lucru le poate părea un nonsens unora care cred că ştiinţa distruge misterul pe care poezia trebuie să-l cultive. Poetul Keats l-a criticat pe Newton pentru că distruge poezia curcubeului:

Philosophy will clip an Angel's wings,
Conquer all mysteries by rule and line,
Empty the haunted air, and gnoméd mine –
Unweave a rainbow...

(Filosofia va reteza aripile îngerului
Va cuceri toate misterele cu legi şi linii
Va pustii văzduhul de duhuri şi pământul de gnomi
Va destrăma curcubeul...)

Blake se lamenta şi el:

For Bacon and Newton, sheath'd in dismal steel,
their terrors hang
Like iron scourges over Albion; Reasonings like vast Serpents
Infold around my limbs...

(Iar Bacon şi Newton, învăluiţi în oţel rece, răpândesc teroare
precum războiul asupra Albionului; raţionamentele lor,
ca nişte şerpi prelungi, mi se încolăcesc în jurul membrelor...)

Mi-aş dori să-i întâlnesc pe Keats sau Blake pentru a-i convinge că misterele nu-şi pierd poezia numai fiindcă sunt dezlegate. Ci din contră. Soluţia se dovedeşte a fi adesea mai frumoasă decât misterul şi oricum pune în evidenţă mistere mai profunde. Separarea curcubeului în fascicule de lumină cu diferite lungimi de undă conduce la ecuaţiile lui Maxwell, iar în final la teoria specială a relativităţii, a lui Einstein.

Einstein însuşi recunoştea în mod deschis că este condus de o deviză ştiinţifică şi estetică: „Cel mai frumos lucru pe care îl putem trăi este misterul. Este sursa artei şi ştiinţei adevărate", spunea el. Este greu de găsit un fizician modern al particulelor care să nu recunoască o asemenea motivaţie estetică. Un exemplu tipic este John Wheeler, unul dintre distinşii decani de vârstă ai fizicii americane de azi:

„Vom vedea că ideea centrală despre toate este atât de simplă, de frumoasă, de cuprinzătoare încât ne vom spune «O, cum ar fi putut să fie altfel! Cum am putut fi atât de orbi, atât de mult timp!»"

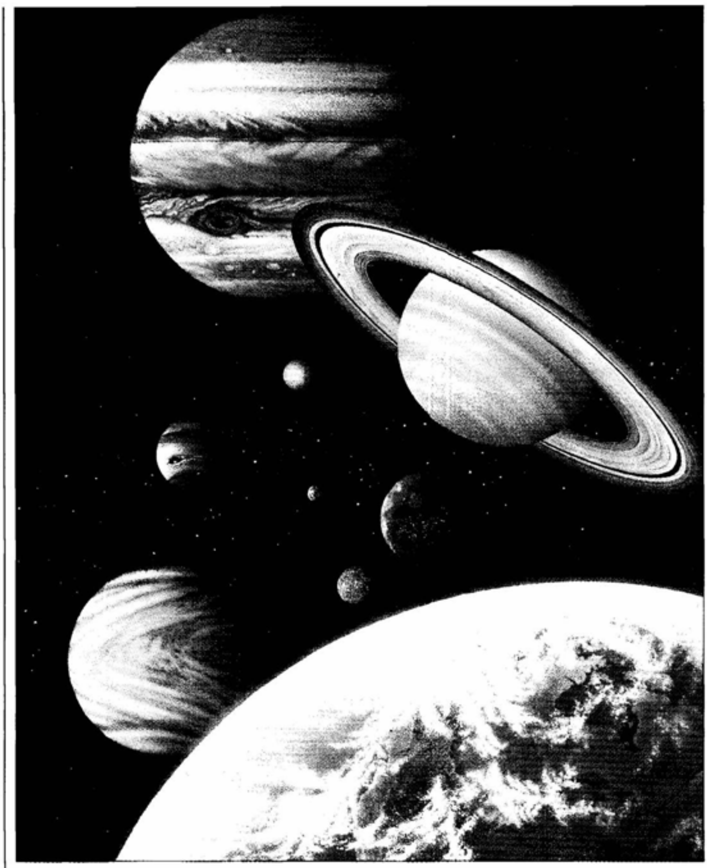
Wordsworth, spre deosebire de semenii săi romantici, aştepta un timp în care descoperirile ştiinţifice să devină „obiectele propriu-zise ale artei poeţilor". La cina pictorului Benjamin Haydon din 1817, a cucerit admiraţia savanţilor refuzând să li se alăture în toastul lor, „Confusion to mathematics and Newton" („Pentru confuzia matematicii şi a lui Newton").

Acum, iată o aparentă confuzie. T. H. Huxley vedea ştiinţa ca „nimic altceva decât bun simţ organizat şi instruit", în timp ce profesorul Lewis Wolpert insistă că este profund paradoxală şi surprinzătoare, un afront adus bunului simţ, nu o extensie a acestuia. De exemplu, de fiecare dată când beţi un pahar cu apă, beţi cel puţin un atom care a trecut prin vezica lui Aristotel. Acesta este un rezultat supărător şi surprinzător, dar de fapt este obţinut prin bunul simţ organizat în stilul lui Huxley, din observaţia lui Wolpert conform căreia „există mult mai multe molecule într-un pahar cu apă decât pahare cu apă în mare".

Ştiinţa parcurge gama de la supărător şi surprinzător la straniu şi profund, iar ideile nu sunt mai ciudate decât mecanica cuantică. Mai mulţi fizicieni au spus că „Dacă aveţi impresia că înţelegeţi teoria cuantelor, înseamnă că nu înţelegeţi teoria cuantelor". Există mistere în Univers, mistere înşelătoare, dar nu sunt capricioase sau frivole în variabilitatea lor. Universul este un loc ordonat, guvernat de legi. Dacă puneţi o cărămidă pe o masă, rămâne acolo, în afara cazului în care ceva anume o mişcă, chiar dacă, între timp, uitaţi că se află acolo. Fenomenele poltergeist şi spiritele nu intervin ca să-l mişte, nici din plictiseală, nici din capriciu. Există mistere, dar nu magie. Există ciudăţenii dincolo de limita imaginabilului, dar nu vrăji sau magie, nu miracole arbitrare.

Suntem adesea forţaţi să credem în astfel de fenomene paranormale. Unii oameni pretind că sunt în contact cu morţii, iar alţii pretind că prevăd viitorul. În multe emisiuni populare de televiziune, sunt invitaţi iluzionişti care-şi fac numerele obişnuite. Dar în loc de a admite că sunt iluzionişti, aceştia pretind că ar avea puteri supranaturale. Totuşi, cum putem fi atât de siguri că aceşti „supranaturali" sunt iluzionişti obişnuiţi?

De fapt, totul se reduce la parcimonie, la minimul de explicaţii. Este posibil ca motorul maşinii dumneavoastră să funcţioneze cu energie psihocinetică, dar dacă arată ca un motor ce funcţionează cu benzină, miroase a petrol şi se comportă ca un motor pe benzină, ipoteza logică de lucru este că e vorba despre un motor pe benzină. Nu este nimic irevocabil în acest raţionament. Un savant nu va exclude telepatia şi posedarea de către spiritele morţilor ca principiu de funcţionare a motorului. În mod sigur, nu este imposibilă răpirea oamenilor de către extratereştri în farfurii zburătoare. Într-o zi, s-ar putea întâmpla. Dar probabilităţile arată că aceasta ar trebui să rămână o explicaţie de ultimă instanţă. Nu este parcimonioasă, solicitând mai mult decât dovezi uzuale slabe înainte de a putea să o credem. Dacă auziţi tropot de copite pe o stradă, ar putea fi o zebră sau chiar un unicorn – dar înainte de a presupune că este orice altceva decât un cal, ar trebui să aveţi un minim standard de dovezi.



SUS **Astronomia, regatul „căilor stelare" ale lui of Yeats, ne poate umple de uimire, fie că suntem copii sau adulţi.**

S-a sugerat că dacă iluzioniştii chiar ar avea puterile pe care pretind că le au, ar câştiga în fiecare săptămână premiul cel mare la loterie. Prefer să cred că ar câştiga şi un premiu Nobel pentru descoperirea unor forţe fizice fundamentale, necunoscute ştiinţei. Oricum, de ce şi-ar risipi talentele cu apariţiile la televiziune? Este absolut necesar să fim deschişi la minte, dar nu chiar atât de deschişi încât să nu mai avem minte. Să nu ne întoarcem la epoca întunecată a superstiţiilor şi a iraţionalului, o lume în care de fiecare dată când îţi pierzi cheile bănuieşti intervenţia unor fenomene poltergeist, a demonilor sau răpiri extraterestre.

Popularitatea paranormalului, în mod destul de ciudat, se poate transforma în fundamentul încurajării sale. Cred că apetitul pentru mister şi entuziasmul faţă de ceea ce nu înţelegem sunt sănătoase şi trebuie menţinute. Este acelaşi apetit care stimulează cele mai bune realizări ale ştiinţei adevărate, pe care ştiinţa adevărată este cea mai calificată să-l satisfacă.

Astronomia, de exemplu, este o ştiinţă care are de a face aproape exclusiv cu minunile şi misterele. Pentru a arăta cum poate fi prezentată copiilor această senzaţie a minunilor astronomice, mă voi inspira dintr-o carte numită *Earthsearch (În căutarea Pământului)* de John Cassidy.

Găsiţi un mare spaţiu deschis şi luaţi o minge de fotbal pentru a vă imagina că reprezintă Soarele. Puneţi mingea jos şi mergeţi zece paşi în linie dreaptă. Înfigeţi un băţ în pământ. Capătul băţului reprezintă planeta Mercur. Mai faceţi nouă paşi de la planeta Mercur şi puneţi jos un bob de piper pentru a

reprezenta planeta Venus. La şapte paşi mai departe, lăsaţi jos alt bob de piper pentru planeta Pământ. La 3 cm de Pământ, alt beţişor reprezintă Luna – amintiţi-vă, este cel mai îndepărtat loc pe care a ajuns omul. Dacă mai faceţi paisprezece paşi ajungeţi la mica planetă Marte, apoi trebuie să faceţi 95 de paşi pentru a ajunge la gigantica Jupiter, o minge de ping-pong. Mai faceţi alţi 112 paşi pentru a ajunge la Saturn, o bilă. Probabil nu mai aveţi loc pentru planetele mai îndepărtate deoarece distanţele sunt mult mai mari. Dar cât de departe ar trebui să mergeţi pentru a ajunge la cea mai apropiată stea, Proxima Centauri? Luaţi altă minge de fotbal pentru a o reprezenta, şi porniţi la o plimbare de 6760 km. Cât despre galaxia cea mai apropiată, Andromeda, nici să nu vă gândiţi!

Dar să nu ne mai gândim la Univers, putem găsi o mulţime de minuni mult mai aproape de casă. Organismul omului conţine un trilion de copii ale unui document mare, scris într-un cod digital foarte precis, iar fiecare copie este mare cât o carte foarte voluminoasă. Mă refer, desigur, la ADN-ul din celulele noastre. Tratatele descriu ADN-ul ca fiind macheta organismului. Este mai elocvent să-l considerăm ca reţeta de alcătuire a unui organism, deoarece este ireversibilă, dar eu doresc să-l prezint din nou ca pe ceva diferit, chiar mai incitant. ADN-ul din organism este o descriere codificată a lumilor străvechi în care au trăit strămoşii noştri.

Cele mai vechi documente umane sunt de acum câteva mii de ani, aflate iniţial sub formă de imagini. Alfabeturile par să fi fost inventate cam cu 35 de secole în urmă în Orientul Mijlociu, apoi de atunci s-au schimbat şi au fost răspândite numeroase varietăţi de alfabet. ADN-ul a apărut cel puţin cu 35 de milioane de secole în urmă, iar de atunci nu s-a schimbat deloc. Alfabetul său nu este singurul lucru care a rămas neschimbat. Dicţionarul celor 64 de cuvinte de bază şi semnificaţiile lor au rămas aceleaşi, şi la bacterii şi la noi.

Ceea ce s-a schimbat sunt lungile programe pe care le-a scris selecţia naturală folosind acele 64 de cuvinte de bază. Mesajele care au ajuns până la noi sunt cele care au supravieţuit milioanelor de generaţii, iar în unele cazuri, sutelor de milioane de generaţii.

Pentru fiecare mesaj care a ajuns cu succes în prezent, nenumărate mesaje au eşuat, ca şi aşchiile care cad pe podeaua unui sculptor. Iată ce înseamnă selecţia naturală darwiniană. Noi suntem descendenţii unei mici elite de astfel de strămoşi care au reuşit. ADN-ul nostru s-a dovedit a fi un succes, pentru că a ajuns până aici. Timpul geologic a cioplit şi a sculptat ADN-ul nostru pentru a supravieţui până în prezent.

Probabil că azi există treizeci de milioane de specii distincte în lume. Asta înseamnă că există treizeci de milioane de moduri distincte de a trăi: moduri de a transmite ADN-ul în viitor. Unele se află în mare, altele pe uscat. Unele sunt în copaci, altele sub pământ. Unele sunt plante, folosind panouri solare – pe care le numim frunze – pentru captarea energiei. Altele, ierbivorele, mănâncă plantele. Altele mănâncă ierbivorele. Unele sunt carnivore mari, care le mănâncă pe cele mici. Unele trăiesc ca paraziţi în interiorul altor organisme. Unele trăiesc în izvoarele fierbinţi. Se spune că o specie de vierme mic trăieşte numai în suporturile pentru paharele de bere germană. Toate aceste moduri diferite de viaţă sunt doar tactici diferite de a transmite mai departe ADN-ul. Diferenţele constau în detalii.

ADN-ul unei cămile a fost cândva în mare, dar nu există de 300 de milioane de ani. Şi-a petrecut cea mai mare parte a istoriei geologice recente în deşerturi, programând organisme care să suporte praful şi să conserve apa. Ca şi dunele de nisip, modelate în forme fantastice de către vânturile deşertului, ADN-ul cămilei a fost sculptat prin supravieţuirea în străvechile deşerturi, pentru a ajunge la cămila din zilele noastre.

În fiecare etapă a uceniciei sale geologice, ADN-ul unei specii a fost cizelat şi şlefuit, sculptat şi recizelat prin selecţie într-o succesiune de medii. Dacă am şti să înţelegem limbajul, am vedea că în ADN-ul tonului şi al stelei de mare scrie „în mare". În ADN-ul cârtiţelor şi în cel al râmelor am vedea că este scris „în pământ". Desigur, în ADN sunt înscrise şi multe alte lucruri. În ADN-ul rechinilor şi în cel al panterelor am vedea că scrie „vânătoare", precum şi mesaje separate despre mare şi pământ.

Încă nu ştim să citim aceste mesaje. Poate nu vom şti niciodată, deoarece limbajul lor este indirect, asemănător mai degrabă unei reţete decât unui desen arhitectural. Dar rămâne adevărat faptul că ADN-ul nostru este o descriere codificată a lumilor în care au supravieţuit strămoşii noştri. Suntem arhive umblătoare ale Pliocenului din Africa, chiar ale mărilor din Devonian. Aţi putea petrece o viaţă citind astfel de mesaje şi aţi putea muri fără să vă fi săturat de miracolul din ele.

Există un apetit pentru minuni, iar ştiinţa adevărată este foarte calificată să-i dea curs. Se spune adesea că oamenii au nevoie de ceva mai mult decât lumea materială în vieţile lor. Că există un gol care trebuie umplut. Oamenii au nevoie să aibă senzaţia unui scop. Ei bine, nu ar fi un scop rău să aflăm ceea ce se află deja acolo, în lumea materială, înainte de a trage concluzia că ne trebuie ceva mai mult? Ce vreţi mai mult de atât? Gândiţi-vă la acest lucru şi veţi descoperi că este deja cu mult mai înălţător decât orice v-aţi imagina că vă este necesar.

Nu trebuie să fiţi un savant – nu trebuie să vă jucaţi cu arzătorul Bunsen – pentru a înţelege destulă ştiinţă ca să vă satisfaceţi nevoia imaginată şi să umpleţi acel gol. Ştiinţa trebuie să iasă din laborator şi să intre în cultură.

Acesta este o versiune editată a Richard Dimbleby Memorial Lecture, difuzată la postul de televiziune BBC în 12 noiembrie 1996, cu titlul Science, Delusion and the Appetite for Wonder (Știință, iluzie și apetitul pentru minuni).

Î. HR.	Î. HR.	1 – 799	800 – [illegible]	[illegible] – 1599	1600 – 1699

MATEMATICĂ

530 Î.HR.
Pitagora din Samos descoperă teorema despre triunghiurile dreptunghice, care acum îi poartă numele – pătratul ipotenuzei este egal cu suma pătratelor catetelor.

300 Î.HR.
Euclid scrie *Elementele*, lucrare despre geometrie, poate cartea cu cea mai mare influență din istoria matematicii și baza întregii geometrii până în secolul 19.


EUCLID

AD 825
Al-Khawarizmi scrie primul mare tratat de algebră și introduce notația numerică modernă bazată pe cifre, denumite azi „arabe", în care valoarea fiecărei cifre depinde de poziția ei.


ISAAC NEWTON

1614
John Napier inventează logaritmii și „oasele lui Napier", un sistem de bețe pentru a face calcule rapide.

1687
Newton scrie lucrarea *Principia Mathematica (Principiile matematice)*.

FIZICĂ

250 Î.HR.
Arhimede din Siracuza pune bazele științei hidrostaticii și descoperă principiul ce avea să-i poarte numele. Acesta afirmă că un corp scufundat este împins în sus cu o forță egală cu greutatea volumului de apă pe care îl dizlocă.


ARHIMEDE

50
Eroul Alexandriei inventează o fântână arteziană, o pompă și chiar o turbină cu aburi.

1000
Alhazen scrie cartea *Comorile opticii*, în care descrie lentilele, oglinzile și camera obscură.


NICOLAUS COPERNICUS

1600
William Gilbert, în cartea sa *De Magnete (Despre magneți)*, dezvăluie că Pământul are un câmp magnetic asemănător celui al unei bare magnetice gigantice.

1650
Otto von Guericke inventează pompa cu aer și cercetează vidul. El arată că atunci când două semisfere mari de metal sunt lipite și aerul din ele este pompat afară, nu mai pot fi separate nici dacă sunt trase de cai.

ASTRONOMIE

550 Î.HR.
Anaximandru sugerează că Pământul este o masă solidă, rotundă, suspendată în spațiu.

130 Î.HR.
Hiparh din Rhodos întocmește primul catalog sistematic al stelelor și creează o scală a magnitudinilor stelare, indicându-le strălucirea aparentă.

150
Ptolemeu elaborează un model complet al mișcării corpurilor cerești, bazat pe orbite și epicicluri. Și el catalogheazã 1028 de stele și estimează dimensiunile și distanțele la care se află Soarele și Luna.

980
Al-Sufi catalogheazã poziția și strălucirea a peste 1000 de stele în a sa *Carte a stelelor fixe*.

1543
În cartea sa, *De Revolutionibus Orbium Coelestium (Despre revoluția corpurilor cerești)*, Nicolaus Copernicus susține că Pământul nu este centrul fix al Universului, ci se rotește în jurul Soarelui împreună cu alte planete.

1609
Johannes Kepler susține că planetele parcurg orbite eliptice, nu circulare, așa cum susținuse în primele două legi pe care le enunțase despre mișcarea planetelor. A treia lege enunțată de el arată că perioada de rotație a orbitei fiecărei planete este proporțională cu distanța planetei până la Soare.

1610
Galileo Galilei este primul care a folosit un telescop pentru a observa cerul. Nu numai că vede munții de pe Lună, ci și, mai semnificativ, vede sateliții gravitând în jurul lui Jupiter. Acest lucru arată că o planetă care se rotește poate avea un satelit, demonstrând că este valabil și pentru Pământ.

CHIMIE

450 Î.HR.
Empedocle sugerează că toate substanțele sunt formate din numai patru elemente: foc, pământ, aer și apă. Aceste elemente sunt unite sau separate de două forțe, atracție și respingere – sau, mai poetic, iubire și ură.


PĂMÂNT


AER


FOC


APĂ

1556
Agricola scrie cartea *De Re Metallica (Despre regnul metalelor)*, care nu este numai o înregistrare detaliată a mineritului și metalurgiei din secolul XVI, ci și ghidul fundamental de chimie din acea epocă.

1661
Robert Boyle scrie *The Skeptical Chymist (Chimistrul Sceptic)*, în care introduce noțiunea de elemente și compuși și pune bazele chimiei moderne.

LUNA

ȘTIINȚELE PĂMÂNTULUI

384–322 Î.HR.
Aristotel este printre primii care au încercat să înțeleagă în mod științific cutremurele. El credea că sunt provocate de aerul care era eliberat din cavitățile subterane în care era captiv.


ARISTOTEL

78–139
Zhang Heng creează un seismoscop pentru a înregistra cutremurele.

980–1037
Avicenna scrie cartea *Liber de Mineralibus (Cartea mineralelor)* despre variatele aspecte ale geologiei și cutremurelor. Aceasta avea să domine gândirea din mineralogie timp de peste 500 de ani.


AVICENNA

1644
Torricelli își dă seama că atmosfera are greutate și exercită presiune. El demonstrează acest lucru creând primul barometru cu mercur – un tub de sticlă închis la un capăt, plin cu mercur.

1646
Blaise Pascal demonstrează că presiunea aerului descrește cu altitudinea, ducând un barometru cu mercur în vârful Puy de Dôme, un munte de 1200 m aflat lângă Clermont Ferrand.

BIOLOGIE

330 Î.HR.
Teofrast, considerat părintele botanicii, descrie cu acuratețe peste 500 de specii de plante și modul în care se înmulțesc.

83
Dioscoride scrie *De Materia Medica*, care avea să devină standardul de lucru pentru medicină timp de secole întregi.


DIOSCORIDE

1543
Andreas Vesalius publică lucrarea *On the Structure of the Human Body (Despre structura corpului omenesc)* care combate definitiv ideile lui Galen despre anatomie – spre dezamăgirea discipolilor lui Galen.

1628
Cartea lui William Harvey, *On the Motions of the Heart and Blood*, descrie pentru prima dată circulația sângelui și rolul valvelor inimii, al arterelor și al venelor.

1650
Marcello Malpighi descoperă capilarele de sânge cu ajutorul unei noi invenții, microscopul.

1700 – 1799

1800 – 1899

16[illegible]

[illegible] Descartes creează [illegible]tria analitică, bazată [illegible]rdonate: geometria [illegible] de coordonate, [illegible] şi repere carteziene, [illegible]are problemele [illegible]trice se transformă [illegible]bleme algebrice.



RENÉ DESCARTES

1665–1686

[illegible] Newton îşi prezintă [illegible] gravitaţiei şi cele [illegible] legi ale mişcării; de [illegible]menea este pionierul [illegible]tărilor asupra [illegible]rii luminii.

166[illegible]

[illegible] Newton îşi [illegible]borează teoria [illegible]itaţiei, care explică [illegible] lui Kepler privind [illegible]area planetelor, a [illegible] şi a Pământului, [illegible]um şi producerea [illegible]elor.



1669

[illegible]olaus Steno îşi dă [illegible]ma că rocile sunt [illegible]mate prin sedimentare [illegible]undul mării şi că [illegible]aturile cele mai proaspete vor fi întotdeauna [illegible] partea de sus – [illegible]cipiul superpoziţiei.

1658

[illegible] Swammerdam [illegible]coperă hematiile în [illegible]ngele unei broaşte. De [illegible]menea, este pionierul [illegible]udiului insectelor şi al [illegible]atomiei lor.

1730

Leonhard Euler enunţă un număr mare de teoreme şi pune baze solide trigonometriei şi calculului diferenţial şi integral.

1752

Benjamin Franklin foloseşte un zmeu pentru a arăta că fulgerul înseamnă electricitate.

1705

Edmund Halley descoperă despre comete că au orbite previzibile şi revin la intervale de timp regulate. El prezice cu succes revenirea în anul 1759 a cometei care acum îi poartă numele.

1756

Joseph Black recunoaşte importanţa înregistrării schimbării greutăţii şi rolul gazelor în reacţiile chimice. El deduce şi prezenţa dioxidului de carbon în atmosferă.

1735

George Hadley sugerează că aerul cald care se ridică deasupra Ecuatorului se deplasează către poli în straturile superioare ale atmosferei înainte de a se răci şi a coborî, identificând un model de circulaţie cunoscut acum sub numele de celula lui Hadley.



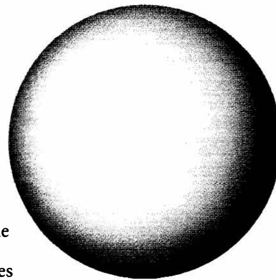
CARL LINNAEUS

1755

Contele Joseph Lagrange începe să lucreze la marea sa carte *Mécanique Analitique (Mecanica analitică)*, în care foloseşte calculul diferenţial şi integral în spaţiul cu patru dimensiuni pentru a rezolva probleme mecanice.

1791

Luigi Galvani descoperă „electricitatea animală“.



URANUS

1774

Joseph Priestley descoperă o gamă largă de noi gaze, printre care dioxidul de azot, amoniacul, azotul, monoxidul de carbon, dioxidul de sulf şi oxigenul.

1766

Jean-Étienne Guettard întocmeşte prima hartă geologică a Franţei şi arată că în centrul Franţei erau odinioară vulcani activi, în Massif Central.

1735

Carl Linnaeus face prima mare clasificare a speciilor de plante, grupându-le în genuri, ordine şi clase.

1768

Johann Lambert demonstrează că numerele $\eth$ şi *e* sunt iraţionale.



THOMAS YOUNG

1781

William Herschel descoperă planeta Uranus, prima planetă „nouă“ care avea să fie descoperită după Antichitate. De asemenea, a descoperit două luni (sateliţi) ale lui Uranus – Titania şi Oberon – şi două ale lui Saturn, Mimas and Enceladus.

1784

Henry Cavendish demonstrează pentru prima dată că apa nu este un element, atunci când provoacă explozia unui amestec de hidrogen şi aer folosind o scânteie electrică şi obţinând apă.

1788

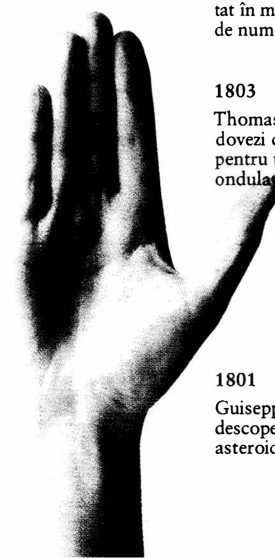
James Hutton este primul care înţelege că Pământul are multe milioane de ani şi că peisajul terestru s-a format gradual în lungi perioade de timp.

1757

Alexander Monro identifică sistemul limfatic.

1799

Pierre Simon, marchiz de Laplace, îşi începe lucrarea despre mecanica cerească, matematica cerului.



UNDĂ DE LUMINĂ

1789

Antoine Lavoisier scrie lucrarea de mare impact *Tratat elementar de chimie*, în care defineşte un element chimic ca fiind punctul final al analizei chimice. De asemenea, realizează prima listă corectă a elementelor chimice.

1798

Henry Cavendish măsoară densitatea Pământului folosind efectul gravitaţional ce-i poartă numele şi deduce că Pământul are un centru metalic.

1767

Lazzaro Spallanzani, pionier în fiziologia experimentală, demonstrează că viaţa nu se reproduce spontan, arătând că pe o supă fiartă care este ermetic închisă nu creşte mucegaiul.

1801

Karl Gauss scrie cartea *Disquisitiones Arithmeticae (Cercetări în aritmetică)*, prin care pune bazele teoriei moderne a numerelor şi dă prima demonstraţie a faptului că orice număr natural poate fi reprezentat în mod unic ca produs de numere prime.

1803

Thomas Young oferă dovezi concludente pentru teoria ondulatorie a luminii.

1801

Guiseppe Piazzi descoperă primul asteroid, numit Ceres.

1800

Humphrey Davey descoperă oxidul azotos – gazul ilariant – şi sugerează folosirea sa ca anestezic.



JEAN LAMARCK

1817

William Smith arată cum secvenţa de roci dintr-un afloriment poate fi datată din fosilele pe care le conţine fiecare strat.

1801

Jean Lamarck enunţă ideea că speciile de animale se schimbă prin evoluţie, ca reacţie la mediul în care trăiesc.

1806

Jean-Robert Argand dezvoltă diagrama Argand, în care numerele complexe sunt reprezentate prin puncte în plan.

1820

Hans Oersted descoperă că un curent electric produce un câmp magnetic.

1814

Josef von Fraunhofer analizează lumina Soarelui şi arată că spectrul său conţine linii întunecate. Aceste „linii de absorbţie“ dezvăluie multe despre reacţiile chimice din atmosfera Soarelui.

1808

John Dalton îşi enunţă teoria atomică, sugerând că fiecare element este alcătuit din particule minuscule numite atomi, care nu mai pot fi nici divizate, nici distruse. Conform teoriei sale, toţi atomii unui element sunt identici.

1830

Charles Lyell îşi publică lucrarea *Principii ale geologiei*, care devine reperul geologilor timp de peste un secol. Argumentul său cheie este că lumea a fost conturată gradual, pe parcursul erelor geologice, de către aceleaşi forţe lente care acţionează şi în prezent.

1839

Theodor Schwann şi Jakob Schleiden dezvoltă teoria celulară a biologiei, care spune că toate plantele şi animalele sunt alcătuite din celule, fiecare având o viaţă proprie, dar fiecare făcând parte din organism ca tot unitar.

1800 – 1899 *(continuare)*

MATEMATICĂ

1822
Baronul Joseph Fourier formulează ecuaţiile diferenţiale parţiale pentru a descrie fluxul de căldură dintr-un corp solid. Pentru a realiza acest lucru, el dezvoltă seriile trigonometrice numite acum serii Fourier.

1826
Nikolai Lobacevski demonstrează pentru prima dată după 2000 de ani că există şi alt tip de geometrie în afara geometriei euclidiene – o descoperire fundamentală care avea să conducă la teoria generală a relativităţii, formulată de către Einstein.

1829
Lambert Quételet dezvoltă metode statistice de a analiza populaţia Belgiei şi arată cum poate fi aplicată teoria probabilităţilor în viaţa obişnuită.

1833
Charles Babbage creează instrumentul diferenţial (difference engine) şi îl foloseşte pentru a compila o tabelă de logaritmi. De aici, dezvoltă conceptul de instrument analitic (analytical engine), ce încorporează multe dintre principiile computerelor moderne.

1854
Georg Riemann introduce ideea de suprafeţe Riemann şi spaţiu multidimensional

1880
Georg Cantor dezvoltă un sistem de aritmetică a infinitului pornind de original


GEORG CANTOR

FIZICĂ

1830
Joseph Henry şi Michael Faraday descoperă cum poate fi indus un curent electric cu ajutorul unui câmp magnetic – ceea ce reprezintă baza generării moderne a electricităţii.

1887
Albert Michelson şi Edward Morley conduc un experiment care demonstrează că viteza luminii este mereu aceeaşi – şi că eterul nu există.

1888
Heinrich Hertz descoperă undele radio.

1895
Wilhelm Röentgen descoperă razele X.


WILHELM RÖENTGEN

1896
Antoine Becquerel descoperă radioactivitatea.

1897
J. J. Thomson descoperă electronul

1900
Max Planck intuieşte ideea teoriei cuantelor.


MAX PLANCK

ASTRONOMIE

1828
Caroline Herschel descoperă opt noi comete şi cataloghează roiurile stelare.


CAROLINE HERSCHEL

1838
Friedrich Bessel măsoară pentru prima dată distanţa până la o stea, folosind metoda paralaxei pentru a arăta că steaua 61 Cygni se află la 10,3 ani-lumină distanţă.

1843
Heinrich Schwabe descoperă ciclul de 11 ani al petelor solare.

1846
Johann Galle descoperă planeta Neptun folosind predicţiile lui Urbain Le Verrier şi John Couch Adams.

1862
Alvan Clark şi fiul lui descoperă că steaua Sirius are un partener, Sirius B.

1896
Birkeland sugerează că aurora s-a format prin pătrunderea radiaţiei solare încărcate electric în atmosfera Pământului şi captarea ei de către câmpul magnetic din apropierea polilor Pământului.

1913
Ejnar Hertzsprung şi Henry Russell descoperă legătura dintre culoarea şi luminozitatea unei stele, realizând un grafic numit acum diagrama Hertzsprung-Russel.

CHIMIE

1811
Amedeo Avogadro formulează legea ce avea să-i poarte numele, care spune că volume egale de gaze în condiţii identice de temperatură şi presiune conţin acelaşi număr de „mici particule".

1818
Jöns Berzelius alcătuieşte prima tabelă sistematică a maselor atomice relative pentru 28 dintre elementele chimice cunoscute atunci. De asemenea, este cel care propune ideea de a folosi literele iniţiale ca simboluri pentru elementele chimice.

1828
Friedrich Wöhler demonstrează că substanţele organice nu se află numai în fiinţele vii, sintetizând uree şi punând astfel bazele chimiei organice.

1869
Dmitri Mendeléev creează Tabelul periodic al elementelor, în care elementele chimice sunt plasate (iniţial) în ordinea crescătoare a maselor atomice relative şi sunt aranjate pe grupuri verticale având caracteristici chimice similare.

1894
William Ramsay descoperă primul gaz nobil, care a fost denumit argon. Ulterior, descoperă alte gaze inerte – kriptonul, xenonul, neonul şi radonul.

1898
Marie şi Pierre Curie descoperă elementele chimice radioactive poloniu şi radiu. Marie Curie arată şi că radioactivitatea este o proprietate naturală a atomului de uraniu.

ŞTIINŢELE PĂMÂNTULUI

1863
John Tyndall explică pentru prima dată de ce este cerul albastru – din cauza modului în care particulele din aer reflectă lumina albastră de la Soare. De asemenea, enunţă ideea efectului de seră.

1840
Louis Agassiz demonstrează că cel puţin o dată în trecut, cea mai mare parte a Emisferei Nordice a fost acoperită de un strat gros de gheaţă.

1857
Profesorul Buys Ballot demonstrează că, în Emisfera Nordică, vânturile suflă în sens invers acelor de ceas în jurul centrelor de presiune scăzută şi în sensul acelor de ceas în jurul centrelor de presiune ridicată. În Emisfera Sudică, fenomenul este invers.

1856
Luigi Palmieri îşi dă seama, în timp ce observă erupţia Vezuviului în anul 1855, că un instrument ce ar putea detecta foarte mici mişcări ale scoarţei terestre poate ajuta la prezicerea cutremurelor şi a erupţiilor vulcanice. El construieşte primul seismograf modern.

1857
După studierea erupţiei Vezuviului, Robert Mallet încearcă să determine cu ce viteză se deplasează undele seismice. El întocmeşte o hartă a cutremurelor care arată, pentru prima dată, producerea cutremurelor numai în anumite zone.

1874
Perrault face legătura dintre ploaie şi apa râurilor şi descoperă că până la urmă, apa râurilor provine din ploi şi zăpezi.


PĂMÂNTUL

1906
Richard Oldham demonstrează că Pământul are un miez lichid.

BIOLOGIE


LOUIS PASTEUR

1856
Gregor Mendel descoperă legile statistice de bază ale eredităţii, studiind mazărea.

1858
Charles Darwin şi Alfred Wallace enunţă independent unul de altul teoria evoluţiei speciilor prin selecţie naturală.

1861
Louis Pasteur reuşeşte să combată cu dovezi ideea apariţiei spontane a vieţii şi enunţă teoria că bolile sunt provocate de germeni.

1863
Wilhelm Waldeyer-Hartz descrie cancerul ca începând cu o singură celulă şi apoi răspândindu-se în alte părţi ale organismului prin metastaze.

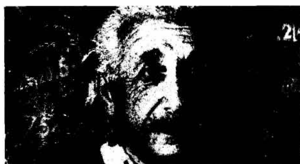
1867
Joseph Lister demonstrează valoarea procedurilor antiseptice în timpul intervenţiilor chirurgicale.

1882
Ilya Mecinikov descoperă în sânge celule asemănătoare amibei, numite fagocite, ce joacă un rol important în lupta organismului contra infecţiilor prin digerarea bacteriilor.

1902
Karl Landsteiner descoperă că sângele uman poate fi împărţit în patru grupe: A, B, AB şi O.

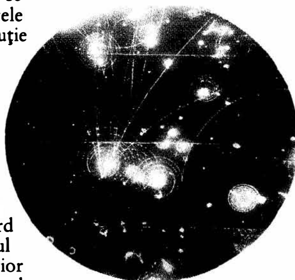


1900 – 1999 | *după anul* **2000**



ALBERT EINSTEIN

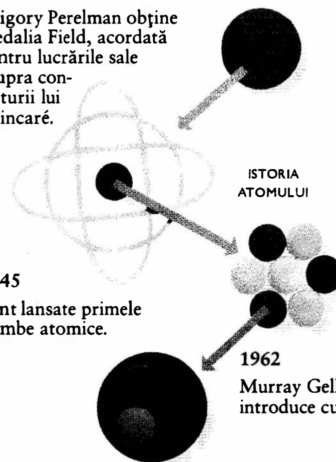
1900
Karl Pearson introduce testul x2, o măsură statistică crucială, care arată cât de bine se potriveşte cu datele actuale o distribuţie teoretică.



ISTORIA ATOMULUI

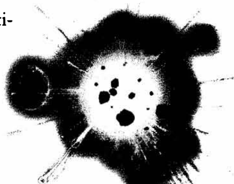
1994
Andrew Wiles oferă pentru prima dată o demonstraţie a marii teoreme a lui Fermat.

2006
Grigory Perelman obţine medalia Field, acordată pentru lucrările sale asupra conjecturii lui Poincaré.



ISTORIA ATOMULUI

1905, 1915
Albert Einstein enunţă teoria specială a relativităţii care se referă în principal la lumină – şi teoria generală a relativităţii, care se referă la gravitate.



BIG BANG

1910
Robert Millikan determină sarcina unui electron.

1911
Ernest Rutherford descoperă nucleul atomului şi ulterior descoperă protonul.

1926
Paul Dirac prezice existenţa antiparticulelor şi pune baze ferme teoriei cuantelor.

1932
James Chadwick descoperă neutronul.

1945
Sunt lansate primele bombe atomice.

1962
Murray Gell-Mann introduce cuarcul.

1927
Abatele Georges Lemaître este pionierul teoriei Big Bang-ului privind originea Universului.

1929
Edwin Hubble demonstrează că există şi alte galaxii în afară de a noastră, iar ele se îndepărtează de noi cu o viteză care depinde de distanţa la care se află – o relaţie cunoscută sub numele de legea lui Hubble. Aceasta este prima dovadă că Universul se află în expansiune.

1957
Primul câine care ajunge în spaţiu, Laika, este lansat în Sputnik II.



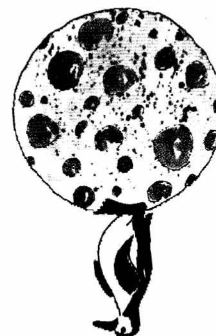
LEIKA

1961
Cosmonautul sovietic Yuri Gagarin devine primul om care ajunge în spaţiul cosmic.

1969
Misiunea Apollo 11 duce primii oameni pe Lună.

1976
Sonda spaţială Viking ajunge pe Marte.

2004
Sonda spaţială Huygens petrece 90 de minute trimiţând informaţii de pe suprafaţa lui Titan, satelitul lui Saturn.



APĂ PE LUNĂ

1913
Henry Moseley stabileşte legătura dintre comportarea chimică a unui element şi configuraţia sa atomică, folosind razele X pentru a arăta că sarcina nucleară corespunde numărului atomic al elementului.

1939
Linus Pauling dezvoltă ideea teoriei cuantelor în relaţie cu legăturile chimice. Acest lucru îi permite nu numai să calculeze energia legăturilor, ci şi să realizeze scala electronegativităţii pentru a prezice posibilitatea unei reacţii chimice.



LINUS PAULING

1985
Robert Curl, Sir Harold Kroto şi Richard Smalley descoperă o nouă formă de existenţă a carbonului pur, particulele sferice de dimensiuni nanometrice (buckyballs) şi alte fulerene.

1991
Sumio Iijima din Japonia construieşte primul nanotub.

1912
Alfred Wegener este primul care ia în serios conceptul derivei continentelor şi ideea că toate continentele au fost cândva unite într-un mare continent, numit Pangea.



ALFRED WEGENER

1920
Bjerknes dezvoltă ideea fronturilor atmosferice şi a maselor de aer drept cauză principală a furtunilor de la latitudini medii.

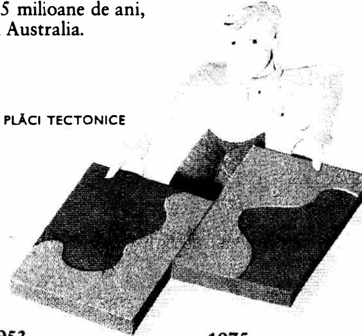
1935
Richter întocmeşte scala ce-i poartă numele pentru măsurarea magnitudinii cutremurelor.

1956
Morris Ewing descoperă lanţurile muntoase oceanice şi faptul că fundul oceanic este alcătuit din roci vulcanice tinere.

1979
Sunt descoperite stromatolite fosilizate – colonii de alge verzi-albastre –, vechi de 3,5 milioane de ani, în Australia.

1983
Măsurătorile laser efectuate prin satelit dezvăluie rata reală a mişcărilor plăcilor tectonice.

2003
Sonda Galileo, o misiune comună a agenţiilor spaţiale din Europa şi S.U.A., oferă o hartă a unităţilor geologice de pe suprafaţa satelitului de gheaţă al lui Jupiter, Europa.



PLĂCI TECTONICE

1903
Theodor Boveri şi alţii sunt pionierii studierii cromozomilor şi a eredităţii.

1926
Hermann Muller descoperă că organismele pot suferi mutaţii genetice dacă sunt expuse la raze X.

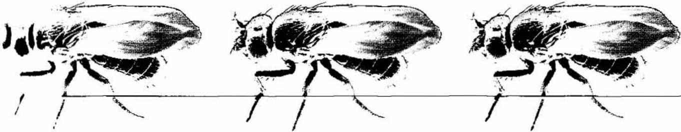
1926
Thomas Morgan creează teoria cromozomială a eredităţii.

1935
Konrad Lorenz descoperă cum poate fi „indus" comportamentul animalelor şi devine fondatorul etologiei moderne.

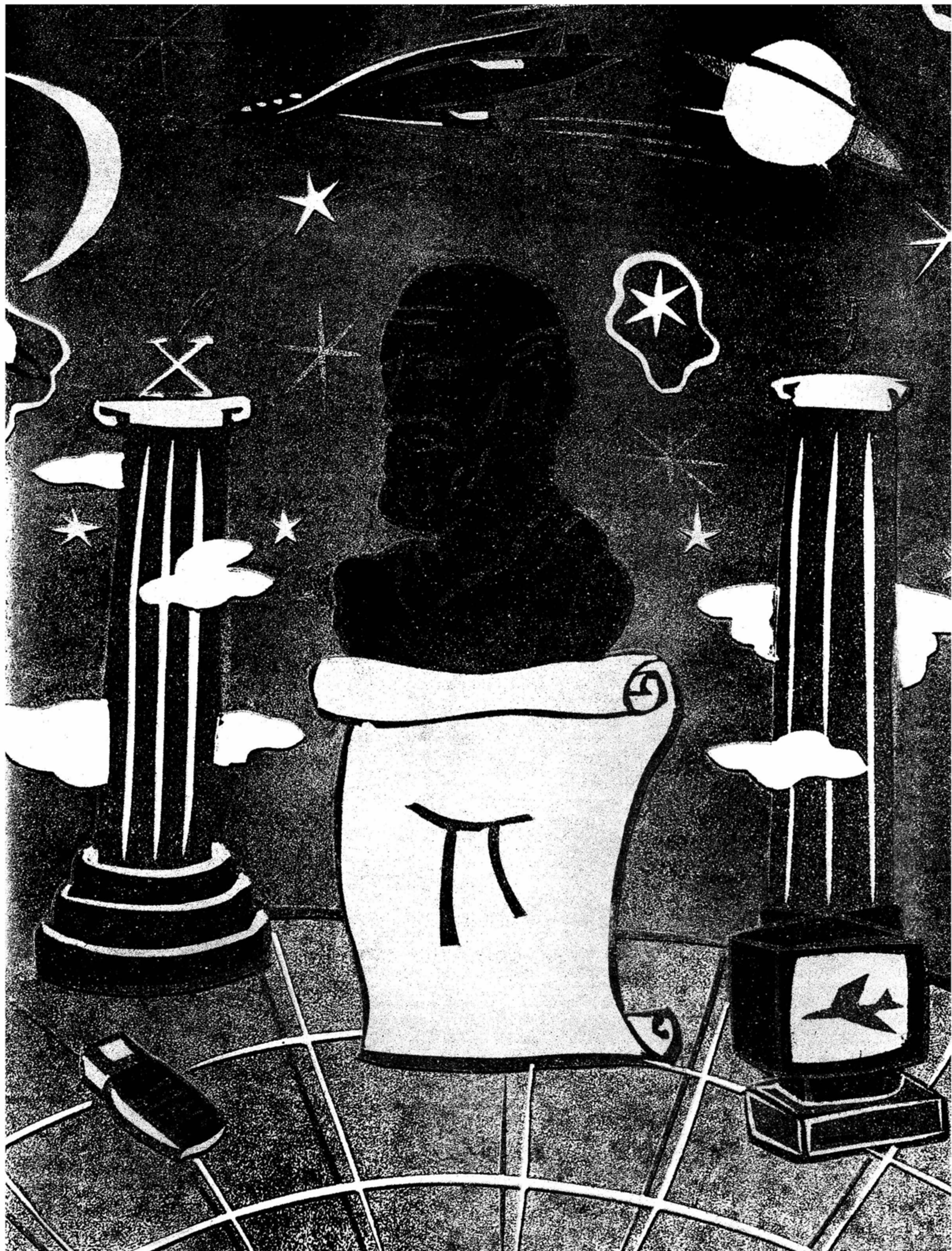
1953
Francis Crick şi James Watson descoperă structura tip de elice dublă a ADN-ului.

1975
Cesar Milstein descoperă anticorpii monoclonali.

2003
Rămăşiţele lui *Homo floresiensis*, un hominid înalt de un metru, circa jumătate din înălţimea omului modern, sunt descoperite pe insula indoneziană Flores.



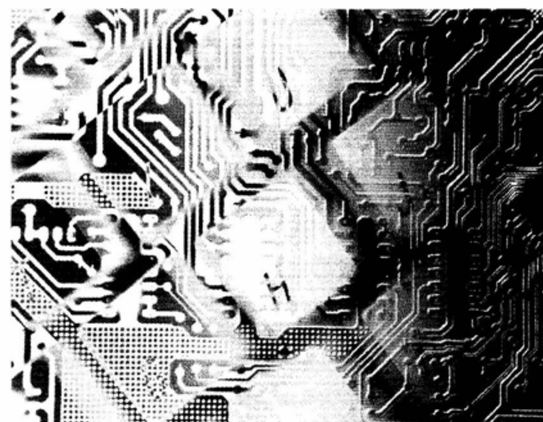
MUSCULIŢA DE OŢET



Haos şi ordine
MATEMATICA



Trăim pe o planetă digitală. Lumea noastră este plină de conexiuni: puteţi ridica receptorul telefonului şi în câteva secunde puteţi vorbi cu cineva aflat pe cealaltă parte a globului. Pământul are o salbă de sateliţi de comunicaţii care transmit zilnic mii de canale de televiziune, milioane de email-uri, miliarde de apeluri telefonice. Internetul este doar la un modem distanţă de orice computer. Tot ce vă trebuie este un dispozitiv handheld, prin care vă puteţi conecta la World Wide Web din vârful Everestului sau din adâncurile pădurii amazoniene. Urmaşul înzestrat cu vorbire al maimuţei este pe cale de a-şi realiza visul cel mai îndrăzneţ: de a putea să discute cu orice seamăn al său, oriunde, oricând, despre orice. Şi, mai mult decât atât, să aibă acces instantaneu, la întreaga arhivă diversă a tuturor semenilor săi. Puteţi numi asta „exteligenţă". Seamănă cu inteligenţa, dar este extinsă în toată cultura umană. Doriţi o carte, un material video, o secvenţă dintr-un film, o melodie, o formulă chimică, un plan ingineresc, o pictură rupestră – apăsaţi butoanele culturale potrivite şi le veţi obţine.



SUS **Fără matematică, dezvoltarea uluitoare a microcircuitelor, care stau la baza construcţiei computerului, şi a tehnologiei digitale nu ar fi fost posibile.**





JOS **Revoluţia informaţională vă permite să comunicaţi cu computerele din întreaga lume folosind un dispozitiv portabil**

Aceasta este Era Informaţională, sau aşa ne place să credem. Dar este mult mai probabil că este doar începutul ei. Informaţia a devenit o marfă; în anumite privinţe, informaţia este mai importantă decât obiectele, deşi acest lucru este adesea exagerat. Informaţia brută în sine nu are valoare, aşa cum utilizatorii Internetului au început să înţeleagă în perioada de dinaintea motoarelor de căutare. Chiar dacă tot ce vă trebuie este informaţia – şi există o mulţime de situaţii în care vă trebuie mai mult, cum ar fi un MP3-player pentru a transforma un fişier MP3 în muzică – trebuie să puteţi să găsiţi informaţia dorită, apoi să o folosiţi aşa cum doriţi.

Deci, ceea ce contează cu adevărat este procesarea algoritmică a informaţiei – trecerea informaţiilor printr-un sistem de reguli pentru a-i da un înţeles.

Ultimul lucru de care au nevoie operatorii de la bursă, de exemplu, sunt mai multe informaţii. Ei au deja mult prea multe. Ceea ce le trebuie este un mod de a extrage diferite caracteristici utile din noianul de informaţii brute – modele care indică o schimbare iminentă în tendinţele pieţei, să zicem. Nu este destul să spunem „să introducem informaţiile în computer". Sunt deja în computer, dar nu se află într-o formă utilă. Aşa încât computerul trebuie convins să proceseze informaţiile în ceva care poate fi folosit, iar modul în care putem face asta acum este folosirea algoritmilor – programe predefinite, dar adesea foarte adaptabile.

Ce se află în centrul procesării algoritmice a informaţiilor? Ceva care are o istorie mult mai îndelungată, începând din zilele când obiectul cel mai apropiat de un computer pe care îl aveau oamenii era o grămadă de pietricele.

Rolul matematicii

Rolul matematicii în cultura noastră este deosebit de curios. Pentru cei mai mulţi dintre noi, matematica este ceva ce am fost forţaţi să învăţăm când eram copii, nu ne-a plăcut, nu prea eram buni la ea şi pe care încă facem tot posibilul ca să o evităm. Cei mai mulţi oameni au fiori numai când se gândesc că trebuie să rezolve o problemă de matematică. Iar în viaţa noastră de zi cu zi nu vedem prea multe dovezi că suferinţele noastre din copilărie au meritat efortul.

Nu ne ajută nici faptul că matematica este folosită în trei moduri: folosirea formulelor matematice pentru a găsi rezolvarea unei anumite probleme (calculul diferenţial şi integral este folosit astfel); cercetarea aparatului matematic existent pentru a găsi o soluţie a unei noi probleme (un exemplu recent este teoria numerelor, care este folosită acum pentru codificarea mesajelor pe internet, deşi nu a fost creată să facă aşa ceva) şi, în final, o cercetare intelectuală făcută de dragul ei înseşi! Nici nu e de mirare că eram atât de derutaţi în copilărie!





SUS **După ce introduceţi solicitarea de rezervare, computerul foloseşte logica matematică pentru a selecta rutele dorite...**

Pe de altă parte, dovada utilităţii cursurilor de artă este peste tot: etichetele de pe borcanele cu murături, biletele de la avizier, reclama la cel mai recent film de succes. Singura legătură cu matematica pe care o vedem este reprezentată de numerele de pe bonul pe care îl primim de la ieşirea din supermarket şi de soldul contului bancar – şi suntem foarte fericiţi să avem încredere că sunt corecte, deşi ştim că nu ar trebui.

Adevăratul rol al matematicii este mult mai profund. Matematica face ordine într-un Univers haotic: ne oferă instrumentele de a pătrunde dincolo de suprafaţa Universului şi de a afla regulile secrete care îi guvernează comportarea. Şi, în mod paradoxal, unele dintre cele mai recente descoperiri din matematică au dezvăluit şi haosul secret care se află la baza acelor reguli. Universul poate fi mult mai ciudat decât ne putem imagina, dar măsura în care imaginaţia noastră poate cuprinde Universul creşte exploziv, iar matematica a jucat un rol fundamental în această explozie.

JOS **Când folosiţi un site pentru a rezerva un bilet de avion către Australia sau altă destinaţie de vacanţă, computerul care afişează instantaneu informaţiile despre rezervare se bazează pe procese matematice pentru a simplifica treaba...**





Chiar în viaţa zilnică, matematica este pretutindeni în jurul nostru. Are o influenţă mult mai mare şi este mai importantă decât, de exemplu, arta comercială. Lăsaţi arta la o parte, iar companiile cinematografice vor găsi alt mod de a-şi face reclamă la mărfurile lor. Lăsaţi matematica la o parte, iar filmele nu ar mai exista. Într-adevăr, dacă lăsaţi matematica la o parte, întreaga noastră civilizaţie s-ar prăbuşi.

Motivul pentru care de obicei nu observăm matematica în acţiune este că – din motive absolut logice – îşi face treaba din culise. Este partea sistemului pe care utilizatorul nu are nevoie să o vadă; cablurile ascunse care fac civilizaţia să funcţioneze, dar ne-ar distrage prea tare atenţia (sau ne-ar înspăimânta prea tare) dacă ar fi la vedere.

Să zicem că vizitaţi site-ul unei agenţii de turism pentru a rezerva un bilet de avion către New York. Scrieţi câteva indicaţii într-un computer şi aşteptaţi să vedeţi ce apare pe ecran. Singurul element matematic pe care îl recunoaşteţi este preţul biletului. Aveţi o vagă idee despre faptul că se petrec mai multe, dar consideraţi că este de la sine înţeles şi puneţi totul pe seama miracolelor computerului.



Să privim în culise, totuşi. Ce anume face computerul? Face mult mai multe decât să caute într-o listă de rezervări şi într-un orar de zboruri. Poate căuta o anume destinaţie, ca să determine ce companii au zboruri acolo. Dar dacă ar trebui să ia la rând toate companiile aeriene, ar trebui să aşteptaţi o după-amiază întreagă. În schimb, face căutarea într-un mod inteligent, pentru a căuta eficient. Căutarea este una dintre sarcinile cele mai simple din procesarea informaţiilor. Există câteva metode preferate, iar toate sunt bazate pe matematică.





SUS **În câteva momente, apar pe ecran informaţiile despre rezervare, informându-vă asupra variantelor disponibile ...**

Dar acesta este numai vârful aisbergului. Cum comunică calculatorul agenţiei de turism cu calculatorul companiei aeriene? Prin telefon. Ce înseamnă acest lucru? Mult mai mult decât am crede de obicei. În zilele noastre, conversaţia prin telefon este divizată în mii de segmente foarte scurte, iar aproape toate sunt imediat aruncate, păstrând numai o mostră – să zicem, fiecare al osutălea segment. O asemenea mostră este suficientă pentru a reconstitui sunetul original, deoarece vorbirea umană este foarte lentă în comparaţie cu rata de eşantionare: dumneavoastră spuneţi „aaaallllloooo“, iar mostra este „alo“, ca să zicem aşa.

După eşantionare, fiecare segment este „digitalizat“ sau transformat în câteva numere care îi definesc caracteristicile cele mai importante. Numerele din aceste segmente sunt apoi întreţesute cu numere similare din alte 99 de conversaţii. Rezultatul este ambalat în „pachete“ relativ scurte de informaţii, iar fiecare îşi croieşte drum în mod independent prin reţeaua telefonică. Pachetele sunt însoţite de informaţii de „rutare“ care indică sistemului telefonic unde să le trimită. Când un pachet ajunge la destinaţie, numerele din mostra dumneavoastră sunt despachetate şi aşezate la rând. Imediat ce a fost prelucrat şi restul conversaţiei desfăşurate până în acel moment, acele numere sunt transformate înapoi în sunete în telefonul prietenului dumneavoastră.

JOS, ÎN CENTRU **Comunicaţiile instantanee prin telefon în toată lumea, pe care acum le considerăm de la sine înţelese, se bazează pe un proces matematic numit eşantionare digitală. Telefonul divide conversaţia dumneavoastră în câteva secvenţe electronice de numere care conţin toate caracteristicile importante ale vorbirii, iar secvenţele sunt rutate apoi către destinaţie printr-un sistem de procesare care se bazează pe operaţii matematice foarte inteligente.**



Fără nişte operaţii matematice foarte sofisticate, sistemul nu ar putea vreodată să ştie unde era fiecare bit din conversaţia dumneavoastră şi cum se îmbină cu ceilalţi. Nu ar putea să amestece conversaţia dumneavoastră cu celelalte 99 şi să o regăsească la fel cum era. Dar, datorită matematicii, metoda funcţionează – şi comprimă 100 de conversaţii într-o linie telefonică pe care altădată se desfăşura o singură conversaţie.

Asta înseamnă să trăim pe o planetă a conexiunilor. Aşa funcţionează. Straturile ascunse de matematică (şi desigur, de fizică, chimie, biologie economie şi artă) pot fi desfăcute aproape la nesfârşit. Prin comparaţie, foile de ceapă sunt simplitatea însăşi.

Unele dintre operaţiile matematice din acele straturi sunt, într-adevăr, foarte vechi. Zborurile se desfăşoară conform unui orar bazat pe timp. Şaizeci de secunde într-un minut, şaizeci de minute într-o oră; de ce şaizeci? Această convenţie numerică vine de la babilonienii antici, cu 4000 de ani în urmă. Babilonienii numărau în grupe de

JOS **Fără scurtăturile matematice, computerul ar trebui să caute prin fiecare companie de zbor şi fiecare zbor individual, iar căutarea ar dura întreaga zi.**





câte şaizeci, în timp ce noi numărăm acum în zeci şi sute (sau în grupe de doi, în cazul computerelor). Nu ştie nimeni exact de ce făceau babilonienii asta – este posibil să aibă legătură cu astronomia (un an are aproximativ 360 de zile) sau cu faptul că erau extrem de pragmatici (60 este divizibil cu multe numere, printre care 1, 2, 3, 5, 6, 12, 15, 20 şi 30, o caracteristică foarte utilă).

Dinamica orbitală a sateliţilor de comunicaţie se bazează pe elemente matematice mai recente, având abia trei secole. În anul 1687, Isaac Newton a publicat prima ediţie a *Principiilor matematice ale filosofiei naturale*, în care a prezentat legea gravitaţiei (vedeţi capitolul 2). Această lucrare conţine tot ce trebuie să înţelegeţi pentru a determina orbitele sateliţilor şi traiectoriile lor de lansare, împreună cu legile de mişcare ale lui Newton, care indică în ce direcţie se va deplasa racheta lansată.

Alte elemente matematice sunt foarte noi. Metodele folosite acum pentru a programa zborurile liniilor aeriene au mai puţin de zece ani vechime. Iar dacă luaţi cu dumneavoastră o cameră video când zburaţi spre destinaţia de vacanţă, este posibil să folosească „logică fuzzy“ pentru a menţine imaginea fixă dacă vă tremură mâna. Logica fuzzy, o formă de logică în care există jumătăţi de adevăr (care sunt pe jumătate adevărate), a fost inventată în anii 1960 de Lotfi Zadeh (n. 1921 în Baku, Azerbaidjan, trăieşte acum în S.U.A.). Nu a devenit încă o parte din curentul matematic de bază, dar inginerii japonezi s-au ataşat de ea ca marca de scrisoare, înglobând-o în sute de aparate casnice diferite, precum maşinile de spălat vase şi sistemul de frânare ABS folosit la autoturisme.

JOS **Fără rutine matematice elaborate, sistemele sofisticate de control al traficului aerian, care permit milioanelor de oameni să zboare în siguranţă în jurul lumii, ar fi imposibile.**





DREAPTA **Probabil că oamenii au început să numere cu mii de ani în urmă, dar a durat foarte mult până la apariţia notaţiei numerice moderne.**

Primul sistem de numeraţie a fost probabil numărarea pe degete. Dar cum puteau fi înregistrate numerele?

Cum am ajuns în acest stadiu? Ce anume face ca matematica să fie o asemenea parte crucială a inteligenţei umane, un ingredient atât de important în „capitalul nostru cultural“? Iată câteva încercări, făcute de diferiţi oameni, de a descrie sau a defini matematica:

- ştiinţa modelelor;
- ştiinţa formei semnificative;
- modul în care se pot trage concluzii necesare;
- calculul analogiei;
- elementul ultim în trasferul tehnologic.

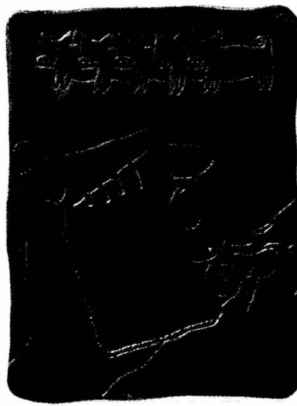
În realitate, toate spun acelaşi lucru: că matematica este cheia noastră către natură. Este un corp de cunoştinţe şi tehnici pe care noi, fiinţele umane, le-am dezvoltat pentru a descrie, caracteriza, înţelege, manevra, exploata şi controla lumea din jurul nostru. Se poate dovedi că nu este cea mai bună cale de a atinge aceste scopuri – dar acum este singurul lucru pe care îl avem şi funcţionează foarte frumos.

De ce sunt atât de mulţi dintre noi cărora nu le place? Poate pentru că şcoala se concentrează asupra tehnicii, iar bunele tehnici matematice sunt naturale pentru foarte puţini dintre noi. Dar dacă încetaţi să vă îngrijoraţi de calcularea corectă a sumelor, vă relaxaţi, vă daţi puţin în spate şi vă bucuraţi de spectacolul ei, matematica poate fi fascinantă. Este calea umanităţii de a face ordine în haos, de a găsi modele ascunse în locuri unde totul pare să fie anarhie.

Să începem prin a urmări de unde şi cum a apărut matematica.



...apoi oamenii au învățat să numere – și să înregistreze – numere mai mari punând discuri de lut într-un sac.



...apoi cineva și-a dat seama că poți face un semn pe o tăbliță pentru fiecare obiect.



...babilonienii au învățat să folosească semne pe diferite forme pe lut pentru a nota numerele mai mari.



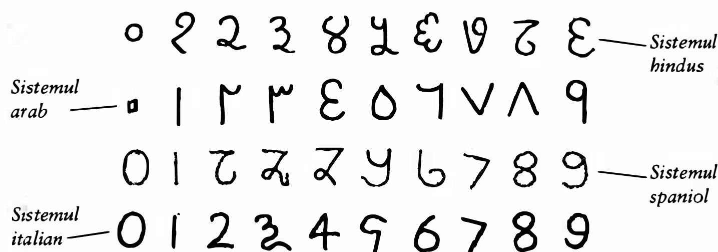
...acum folosim diferite simboluri pentru numerele până la nouă, plasate în diferite poziții în cazul numerelor mai mari.

ORIGINEA NUMERELOR

Număratul a început cu mult înainte de a exista simboluri precum 1, 2 și 3 pentru numerele individuale. De fapt, putem număra fără a folosi deloc numerele. Numărătoarea pe degete este o metodă populară. Dacă sunteți fermier, vă puteți descurca și astfel „Am vaci cât două mâini și degetul mare", îndoind pe rând degetele în timp ce priviți vacile. Nu trebuie neapărat să înțelegeți conceptul numărului unsprezece pentru a vedea dacă v-a furat cineva vreo vacă. Trebuie numai să observați data viitoare că aveți vaci numai cât două mâini – deci, în mod evident, acea vacă ar corespunde degetului mare care lipsește.

Mai puteți înregistra numărătoarea ca semne pe bucăți de lemn sau de os, sau puteți crea jetoane standard pe care să le folosiți ca numărători, cum ar fi discuri de lut cu imaginea unei oi pentru a număra oile, sau o imagine cu o vacă pentru a număra vacile. Pe măsură ce animalele vă trec prin față, puteți pune discurile într-un sac, câte unul pentru fiecare animal. Probabil că folosirea simbolurilor pentru numere s-a dezvoltat cu circa 5000 de ani în urmă, când asemenea numărători erau puse într-un „înveliș" de lut. Era o pacoste să scurmi învelișul de lut de fiecare dată când voiai să verifici numărătoarea, apoi să mai faci unul când termini. Așa că oamenii au făcut semne speciale pe exteriorul învelișului, sumarizând ceea ce este în interior. Apoi și-au dat seama că de fapt nu au nevoie de numărătorile din interior: puteau face același semn pe tăblițele de lut. Este uimitor cât de mult a durat ca să vadă un lucru evident.

EVOLUȚIA SIMBOLURILOR NUMERICE OCCIDENTALE



SUS DREAPTA **Simbolurile numerice moderne au evoluat din sistemul hindus, aproximativ în anul 800, apoi cel arab în anul 900, cel spaniol din anul 1000 și cel italian din anul 1400, care este similar sistemului pe care îl folosim azi.**

Simbolurile numerice babiloniene, de exemplu, erau desenate pe bucăți umede de lut cu vârful unui băț. Nedorind să irosească mult timp pentru a face sute de astfel de marcaje când numărul devenea mai mare, au inventat o formă diferită pentru numărul zece și au folosit mai multe forme pentru multiplii 20, 30 etc.

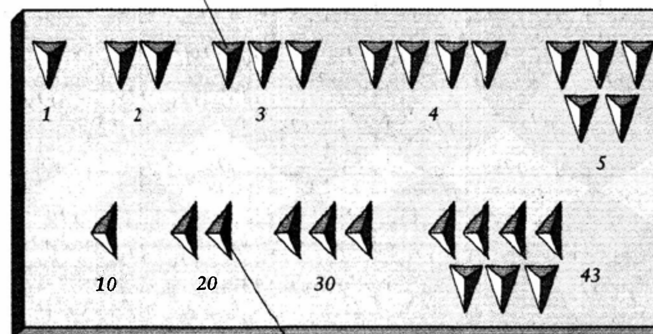
Notația numerică cu care suntem familiarizați azi este foarte diferită. În loc de a repeta același simbol de mai multe ori pentru a nota numerele mari, se folosește o serie întreagă de simboluri: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Pe de altă parte, în loc de a inventa noi simboluri pentru multiplii lui zece (un exemplu ar fi % = 10, $ = 20, & = 30, @ = 40 etc.), se folosesc aceleași simboluri 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, în diferite poziții. Scriem numărul „cincisutedouăzecișicinci" sub forma 525, ceea ce înseamnă $5 \times 100 + 2 \times 10 + 5 \times 1$.

Această metodă poziţională de a scrie numerele s-a dezvoltat în India şi în Arabia între anul 200 şi anul 800. Civilizaţia hindusă din India datează aproximativ din anul 2000 î.Hr. şi a dezvoltat matematica aproximativ din 800 î.Hr. Simbolurile numerice au apărut acolo cam prin anul 300 î.Hr., un exemplu tipic fiind aşa-numitele simboluri Brahmi. Notaţia Brahmi diferă de notaţia din zilele noastre nu numai prin forma simbolurilor, dar şi prin folosirea complet diferită a simbolurilor pentru 1 şi 10, 2 şi 20 ş.a.m.d. Totuşi, a făcut un pas crucial prin folosirea a nouă simboluri diferite pentru cifrele de la 1 la 9.

Pe la anul 600, sistemul hindus s-a dezvoltat devenind ceea ce este azi, cu excepţia unor diferenţe minore în forma simbolurilor de bază, sistemul de numeraţie zecimal sau în baza zece. Aceasta înseamnă că foloseşte zece simboluri (care se întâmplă să fie 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) pentru a reprezenta cele zece numere de la zero la nouă. Următorul număr, zece, este reprezentat prin simbolul 1 urmat de simbolul 0, astfel: 10. Acesta este urmat de 11, 12, 13 şi aşa mai departe până la 19; apoi trecem la 20, 21 şi aşa mai departe. Astfel de combinaţii de două cifre ne conduc până la 99, apoi ne oprim. Deci următorul număr, o sută, este scris ca şir de trei simboluri, 100 etc. Primele numere care necesită cifre în plus sunt 10, 100 şi 1000: puterile lui zece. Este important să avem un simbol pentru zero, altfel nu putem distinge categoric între numere precum 12, 102, 1002, 10200 etc.

SISTEMUL DE NUMERAŢIE BABILONIAN

Mai multe simboluri de aceeaşi formă erau folosite pentru numerele de la 1 la 9.



Pentru numerele peste 10, foloseau mai multe simboluri diferite.

SUS **În sistemul babilonian, toate numerele sunt formate numai din două simboluri repetate – unul pentru unităţi, unul pentru zeci.**

SISTEMUL DE NUMERAŢIE ÎN BAZA 20

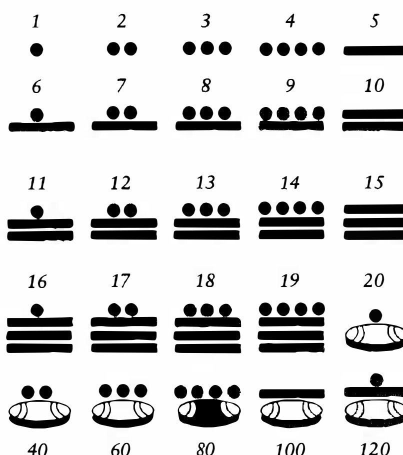
Ne-am obişnuit atât de mult cu sistemul zecimal, încât tindem să credem că un număr este acelaşi lucru cu seria de simboluri pe care o folosim pentru a-l scrie. Dar nu este neapărat necesar să folosim peste tot simboluri ca ale noastre. Mayaşii, care au trăit în America de Sud aproximativ prin anul 1000, foloseau baza douăzeci. În sistemul lor, simbolurile echivalente cu 525 de la noi ar fi:

$5 \times 400 + 2 \times 20 + 5 \times 1$

Asta ar însemna 2045 în notaţia noastră. Numărul este atât de mare deoarece prima cifră înseamnă 5×20^2 în loc de 5×10^2 şi $20^2 = 400$. Smbolurile pe care le foloseau arată astfel.

Civilizaţiile timpurii care au folosit baza zece au făcut asta probabil deoarece aveau zece degete. Mayaşii probabil numărau şi degetele de la picioare, astfel ajungând să inventeze simboluri pentru a folosi baza douăzeci.

SIMBOLURILE NUMERICE MAYAŞE



STÂNGA **Sistemul nostru de numeraţie foloseşte baza zece, ceea ce înseamnă că foloseşte zece simboluri numerice diferite. Mayaşii din America de Sud foloseau un sistem cu baza douăzeci.**



IMPORTANȚA LUI ZERO

Istoria lui zero merge mână în mână cu cea a notării poziției, sistemul pe care îl folosim acum pentru a reprezenta toate numerele întregi folosind numai cele zece simboluri de la 0 la 9. Acest sistem se bazează pe trei idei:

- **O bază de zece unități, care duce la secvența unități, zeci, sute, mii și așa mai departe.**
- **Zece simboluri pentru a nota numerele de la zero la nouă.**
- **Folosirea poziției unui simbol pentru a nota valoarea sa numerică în termenii bazei. În notația 1998, de exemplu, primul 9 înseamnă nouă sute și al doilea înseamnă nouă zeci.**

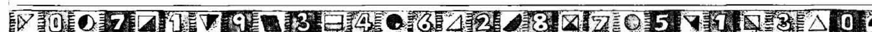
Toate aceste idei existau încă din timpuri străvechi, hindusă dar au fost puse la un loc prima dată aproximativ în anul 400 în civilizația Hindu din India, probabil sub inspirația abacului, un dispozitiv de calcul care folosește bile ce alunecă pe sârme sau pietricele aflate în șanțuri făcute în nisip. Hindușii au înțeles că un rând de bile poate fi reprezentat printr-un simbol – nu simbolurile curente 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 de azi, dar ceva similar. Simbolul 9, să zicem, ar putea reprezenta nouă bile în orice șir – nouă mii, nouă sute, nouă zeci, nouă unități. Forma simbolului nu poate face distincția, dar poziția sa poate. Notația pozițională face calculele aritmetice pe hârtie, tăblițe, sau tablete de lut să fie relativ ușoare, fără a mai folosi un abac.



SUS **Descoperirea utilității lui zero a fost una dintre cheile progresului din matematică.**

Când a fost dezvoltată notația pozițională, nu exista un simbol pentru 0. În cea mai timpurie mențiune atestată a numerelor hinduse, datând din anul 662, episcopul sirian Severus Sebokt afirma că „socotelile se fac cu ajutorul a nouă semne". Totuși, la folosirea notației poziționale, este important să avem un simbol pentru un șir gol de bile: fără el, nu putem face diferența între 14, 104 sau 1040. Așa a fost adăugat la lista cifrelor un al zecelea simbol, zero. Prima referință hindusă cunoscută la zero apare într-o inscripție din anul 876, dar în mod sigur ideea apăruse mai devreme.

Când a fost introdus simbolul pentru zero, zero nu era considerat un număr propriu-zis: era numai un simbol auxiliar folosit în reprezentarea numerelor. Nu știm cine a fost primul care a considerat că zero este un număr, dar prin anul 800 matematicianul indian Mahavira explica de ce înmulțind un număr cu 0 rezultă 0 și că scăzând 0 dintr-un număr rezultă același număr, deci 0 este un număr ca oricare altul. În timpurile moderne, zero a devenit indispensabil. Computerul băncii dumneavoastră tratează banii din contul dumneavoastră ca numere, iar 0 are o semnificație foarte specială! Pentru un aeroplan, altitudinea zero arată că se află la sol.



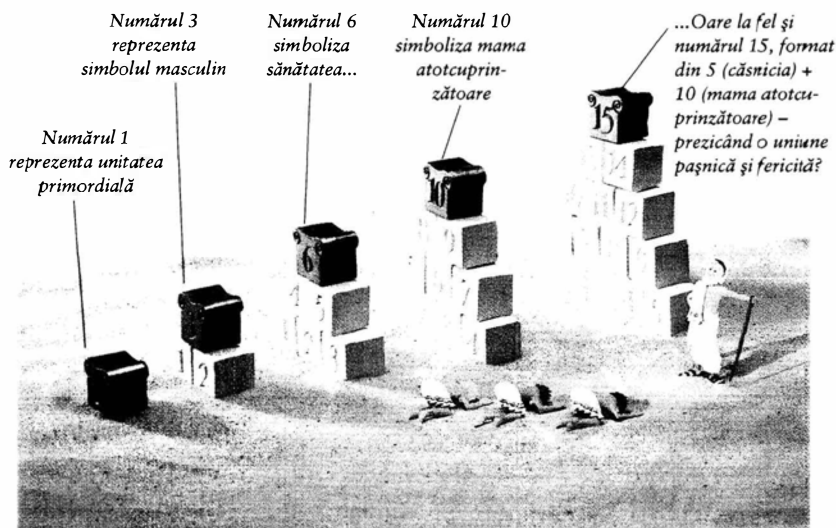
GEOMETRIA GREACĂ

Din punct de vedere matematic, numerele preced idei mai complexe, precum algebra (care foloseşte simbolurile pentru a reprezenta numere necunoscute) şi geometria (matematica formelor). Totuşi, din punct de vedere istoric, prima adevărată înflorire a matematicii s-a produs cu mult înainte de dezvoltarea sistemului de numeraţie de azi. A avut loc în Grecia, cam între 600 î. Hr. şi 150 î. Hr., şi avea în centru geometria. Dar, în anumite privinţe, cea mai profundă contribuţie a ei a fost una logică, deoarece grecii au fost primii care au pus accentul pe noţiunea de *demonstraţie*. Până atunci, adevărurile matematice erau stabilite printr-o combinaţie de argumente şi experimente. Un exemplu de astfel de adevăr este faptul că suma unghiurilor unui triunghi este 180 de grade. După perioada grecilor antici, nici o afirmaţie matematică nu mai putea fi considerată adevărată decât dacă primea o demonstraţie logică riguroasă.

Accentul pus pe demonstraţie, acum considerată a fi esenţa matematicii, a evoluat gradual şi neregulat. Prima şcoală grecească a fost cea a lui Thales, care a trăit aproximativ între 640-550 î. Hr. Thales era un renumit şi excelent negustor: într-un an, a luat toate presele sale de ulei şi le-a închiriat, obţinând un profit imens. Se spune că a calculat înălţimea piramidelor comparându-le umbrele cu cea a unui băţ; este posibil să fi prezis şi o eclipsă de Soare în anul 585 î. Hr. Şi este posibil – deşi nu sigur – că Thales a fost primul grec care a dat demonstraţii pentru unele dintre teoremele sale.

Mult mai importanţi, totuşi, au fost pitagoricii, un cult semi-mistic care a înflorit aproximativ între anii 585 î. Hr. şi 400 î. Hr. Numele Pitagora este cunoscut fiecărui şcolar datorită faimoasei sale teoreme despre triunghiurile dreptunghice (pătratul ipotenuzei este egal cu suma pătratelor catetelor). Babilonienii foloseau teorema în mod empiric (au fost descoperite exemple pe tăbliţele de lut din acea perioadă), deşi nu se ştie în ce mod o foloseau. Nu se ştie nici dacă Pitagora a demonstrat-o, sau dacă a fost primul care a demonstrat-o.

CULTUL PITAGORIC



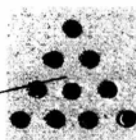
Pitagoricii au considerat numărul 1 drept unitate primordială din care este creat orice altceva, 2 drept simbol feminin şi 3 drept simbol masculin. Numărul 4 era considerat simbolul armoniei, deoarece 4 = 2 × 2 şi cum 2 este par, şi 4 este „par de par"; de asemenea, simboliza cele patru elemente din care se credea că este alcătuit tot ce se află în Univers: pământ, aer, foc şi apă. Numărul 5, suma dintre simbolul feminin 2 şi cel masculin 3, simboliza căsnicia. Numărul 6 simboliza sănătatea şi era considerat şi el perfect deoarece divizorii săi, 1, 2 şi 3 dau prin adunare tot 6.

Pitagoricii erau entuziasmaţi de 10, deoarece fiind 1 + 2 + 3 + 4 era un fel de mamă care le cuprinde pe toate, un simbol al completitudinii ce combina unitatea primordială, principiul feminin, principiul masculin şi cele patru elemente.

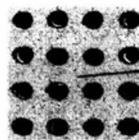
Termenul „pătrat" pentru unele numere a supravieţuit până azi, ca şi termenul „cub" pentru construcţia tridimensională analoagă.

De exemplu, 3 la cub este 3 × 3 × 3 = 27.

TRIUNGHIUL LUI PITAGORA



SUS **Numărul 10 poate fi format într-un triunghi, şi cum totul în geometria greacă era construit din triunghiuri, pitagoricii aveau încă un motiv să celebreze cu entuziasm acest număr.**



SUS **Pitagoricii au studiat şi numerele figurative care puteau fi aranjate, ca puncte, pentru a forma modele geometrice. Cele mai bine cunoscute exemple sunt pătratele 1, 4, 9, 16 etc.**

TETRAEDRU

Se ştiu puţine despre persoana lui Pitagora, exceptând faptul că s-a născut pe insula Samos; totuşi, grupul lui Pitagora a schimbat faţa matematicii, deoarece pitagoricii susţineau că matematica se referă la idei abstracte, nu la lucruri reale. Ei credeau că întregul Univers este bazat pe numere şi au văzut un înţeles profund în simetrii şi în şirurile pe care le formau. Asemenea idei erau parţial de natură filosofică, parţial de natură mistică, dar se bazau pe adevăruri matematice care i-au inspirat pe mulţi dintre matematicienii greci care au urmat.

Cel mai cunoscut dintre matematicienii greci este Euclid, care probabil a învăţat geometrie la academia lui Platon, a trăit în Alexandria între 330 î. Hr. şi 275 î. Hr. şi a educat generaţii întregi de învăţăcei. Cam asta este tot ce ştim despre el ca persoană, dar ştim mult mai multe despre lucrarea lui matematică deoarece o mare parte din ea a supravieţuit ravagiilor timpului, războiului şi bigotismului religios. Nu există manuscrise originale, ci copii ale lucrărilor sale.

Cea mai cunoscută lucrare a sa, *Elementele*, este o colecţie sistematizată a descoperirilor geometrice ale predecesorilor săi, fără îndoială, conţinând şi multe dintre descoperirile lui Euclid. Conţine 13 cărţi separate şi explicitează ceea ce mai târziu s-a numit metoda axiomatică. Aceasta poate fi sumarizată astfel: începem prin a prezenta clar presupunerile iniţiale, apoi deducem orice altceva din ele, cu cât mai multă rigoare logică, aşa cum cerea cultura matematică a timpului.

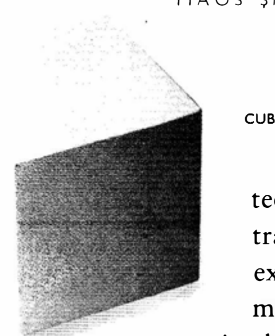
ICOS/

SUS CENTRU **Una dintre cele mai mari realizări ale matematicii clasice a fost descoperirea de către Arhimede a modului de a calcula volumul unei sfere.**

... este raportul dintre circumferinţa
...metrul unui cerc (aproximativ 3,14)

r este raza sferei

volumul sferei este $4/3 \times \pi \times r^3$



CUB

Euclid a început de la proprietăţi simple ale liniilor şi ale cercurilor şi a încheiat demonstrând că pot exista numai cinci corpuri solide regulate – *tetraedrul*, *cubul*, *octaedrul*, *dodecaedrul* şi *icosaedrul*. Partea cea mai profundă conceptual a *Elementelor* se află în *Cartea a V-a*, care prezintă ideile altui grec, Eudoxus, despre ceea ce acum se numesc numere iraţionale. Acestea sunt numere care nu pot fi scrise sub forma unei fracţii p/q, unde p şi q sunt numere întregi. În spiritul geometriei greceşti, Eudoxus a lucrat cu proporţii între segmente, nu cu numere ca atare. Cărţile VII-IX ale *Elementelor* sunt şi ele demne de luat în seamă: se ocupă de teoria numerelor, demonstrând în particular că există o infinitate de numere prime. (Un număr este prim dacă nu are alţi divizori în afară de el însuşi şi unu: primele numere prime sunt 2, 3, 5, 7, 11, 13 şi 17). Numerele prime sunt foarte importante în matematică – le puteţi considera ca blocurile de lego din care sunt alcătuite celelalte numere naturale.

Celălalt geometru grec din ale cărui lucrări a supravieţuit o cantitate substanţială este Apollonius, care a trăit între 262-190 î.Hr. Cea mai mare lucrare a sa este *Secţiunile conice*. Ea conţine proprietăţile fundamentale ale unor curbe precum elipsa, parabola şi hiperbola, care sunt formate la intersecţia unui plan cu o pânză conică. Ulterior, elipsa s-a dovedit a fi crucială pentru înţelegerea orbitelor planetare, dar pe vremea lui Apollonius, valoarea secţiunilor conice era pur intelectuală.

Arhimede (287–212 î.Hr.), inventator şi matematician, născut în Siracuza, era fiul unui astronom. El a calculat ariile şi volumele multor figuri şi corpuri şi a demonstrat că volumul unei sfere este $4/3\pi r^3$, unde r este raza şi π este raportul dintre circumferinţa şi diametrul unui cerc (aproximativ 3,14). Demonstraţia sa a făcut legătura dintre volumul unei sfere şi al unui cilindru. Grecii nu aveau un număr pentru π, deoarece geometria lor se baza pe proporţii, nu pe numere. Totuşi, ştiau că se regăseşte ca raport între circumferinţa şi aria unui cerc, precum şi în volumul şi aria unei sfere. Arhimede a găsit o aproximare excelentă pentru π, demonstrând că se află între 223/71 and 22/7.

OCTAEDRU

NUMERE RAŢIONALE ŞI NUMERE IRAŢIONALE

Numerele precum 2/3, care pot fi scrise sub formă de fracţie şi ale căror numărător şi numitor sunt numere întregi sunt numite numere raţionale. Grecii antici au descoperit că există numere precum rădăcina pătrată a lui doi (care acum se scrie ca $\sqrt{2}$) – care nu se scriu ca raport.

În secolul V î. Hr. un grec numit Hippas din Metapont a demonstrat în mod geometric, că niciun număr raţional înmulţit cu el însuşi nu poate da exact 2. Cu alte cuvinte, 2 este iraţional. Descoperirea a avut implicaţii serioase pentru geometria greacă. De exemplu, să considerăm un pătrat ale cărui laturi au lungimea 1. Teorema lui Pitagora afirmă că diagonala sa are lungimea $\sqrt{2}$. Întrucât $\sqrt{2}$ este iraţional, latura şi diagonala pătratului sunt *incomensurabile*: adică nu pot fi multipli întregi ai aceleiaşi lungimi. Multe teoreme care au demonstraţii uşoare când lungimile sunt comensurabile devin foarte dificil de demonstrat dacă aceste lungimi sunt incomensurabile, astfel că grecii au trebuit să-şi revizuiască metodele.

Marea descoperire a fost făcută de Eudoxus (aproximativ 408-355 î.Hr.), un geometru, astronom, medic, geograf şi jurist grec. Ea implica abandonarea numărului ca şi concept de bază şi lucrul direct cu liniile geometrice. Pe termen lung, metoda lui (care este foarte tehnică) s-a dovedit a fi prea greoaie pentru a supravieţui, dar în schimb, conceptul de număr a fost extins pentru a permite lucrul cu numerele iraţionale. Chiar şi aşa, rămân anumite dificultăţi: de exemplu, dacă scriem $\sqrt{2}$ ca număr zecimal, atunci secvenţa de cifre este nesfârşită şi nu ajunge niciodată la un ciclu repetitiv.



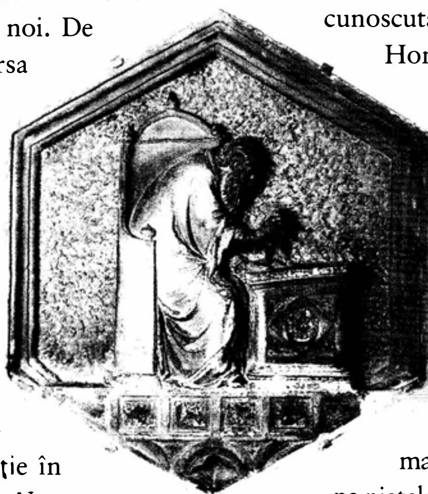
DODECAEDRU

FORME GEOMETRICE **Unul dintre primele repere din matematică au fost descoperirile matematicianului Euclid din Grecia Antică, despre corpurile regulate. Începând de la proprietăţi simple ale liniilor şi cercurilor, a dedus că există numai cinci corpuri solide regulate – tetraedrul, cubul, octaedrul, dodecaedrul şi icosaedrul.**

DREAPTA **Influenţa geometrului grec Euclid asupra matematicii a fost de lungă durată. Chiar şi în zilele noastre, geometria predată în şcoli este bazată pe ideile lui. Acest basorelief german care îl prezintă la lucru cu compasul datează din secolul XIV.**

Evul mediu

În Europa, Evul Mediu s-a remarcat prin absenţa aproape totală a inovaţiilor matematice. Acest lucru se datorează probabil atitudinii Bisericii Catolice, care a înăbuşit ideile noi. De aceea, Orientul a devenit sursa inovaţiilor. Prin anul 500, matematicianul indian Aryabhata a îmbunătăţit rezultatul lui Arhimede, arătând că π este aproximativ 3,1416. Brahmagupta, aproximativ în anul 625, a dat prima metodă de a afla numerele întregi care sunt soluţii ale ecuaţiilor precum $5x + 7y = 29$. De exemplu, în acest caz, singura soluţie în întregi pozitivi este $x = 3$, $y = 2$. Un matematician hindus, Bhaskara (1114-cca 1185), prin anul 1150, a studiat existenţa soluţiilor negative, dar era sceptic în privinţa semnificaţiei numerelor negative.



În acest timp, s-a dezvoltat sistemul notaţiei zecimale, în principal datorită hinduşilor. Cea mai timpurie referinţă la acest sistem a fost descoperită în scrierile unui episcop sirian, Severus Sebokt, în anul 662.

Activitatea matematică a fost intensă în lumea islamică în timpul perioadei medievale. Cel mai cunoscut matematician islamic a fost Muhammad al-Khwarizmi, al cărui nume stă la originea cuvântului „algorithm". Al-Khwarizmi a studiat ecuaţiile liniare, care în notaţie modernă au forma $ax + b = 0$, x fiind necunoscuta, iar a şi b fiind coeficienţi numerici. De asemenea, a studiat ecuaţiile pătratice, precum $ax^2 + bx + c = 0$. El nu a folosit nici un simbolism explicit – într-adevăr, geometria era folosită pentru ceea ce numim acum algebră. De asemenea, a alcătuit tabele cu funcţiile trigonometrice, ca sinus şi tangentă.

Alt matematician islamic de primă mărime a fost Omar Khayyám (cca 1038-1123), deşi azi este mai cunoscut pentru traducerea pe care a făcut-o Fitzgerald poemului său, *Rubaiyata*. Khayyám a descoperit şi rezolvarea ecuaţiilor cubice, ca $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$. A treia mare sursă de descoperiri matematice în timpul Evului Mediu a fost China. Tsu Ch'ung Chi (430-501) a descoperit pentru π o aproximare precisă cu nouă zecimale! Ch'in Chiu Shao a creat o metodă numerică– cunoscută acum în Occident ca metoda lui Horner, după William Horner, care a redescoperit-o în 1819 – de a aproxima rădăcinile oricărei ecuaţii algebrice.



GALILEO GALILEI
1564-1642
Galileo a oferit prima vedere detaliată asupra matematicii mişcării – evidenţiind importanţa acceleraţiei. El a demonstrat şi că traiectoria pe care o urmează un proiectil prin aer este o parabolă.

Renaşterea europeană

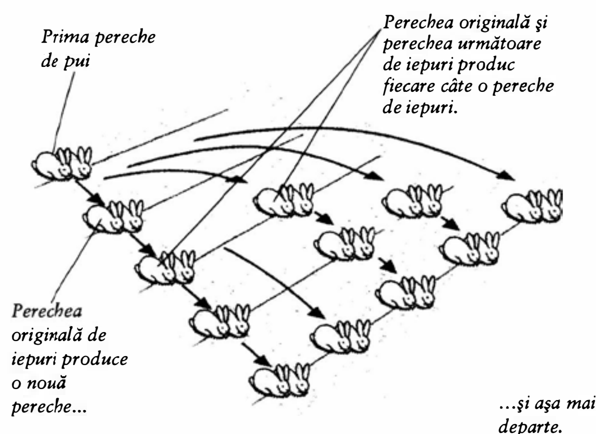
Numerele indo-arabe au fost aduse în Europa în anul 1202 de Leonardo din Pisa în lucrarea sa *Liber Abaci (Cartea abacului)* – din care cea mai mare parte se referea la comerţul pe pieţele străine. În anul 1220, Leonardo a publicat lucrarea *Practica Geometriae*, care folosea numerele indo-arabe în geometrie şi trigonometrie (matematica triunghiurilor – cea mai practică dintre aplicaţii, care este folosită în topometrie şi navigaţie). De asemenea, a inventat un tip de număr special, studiind o problemă despre înmulţirea iepurilor.

Imaginaţi-vă că iepurii se pot înmulţi în a doua lună de viaţă, iar apoi fiecare pereche produce o nouă pereche de urmaşi în fiecare lună. Pornind de la o pereche de iepuri nou-născuţi, câte perechi de iepuri vom avea la începutul fiecărei luni? Care este modelul de calcul al numărului de perechi? Leonardo a dedus că este şirul 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89 etc., unde fiecare număr este suma celor două numere precedente. Acest şir poartă acum numele lui Fibonacci, după o poreclă pe care a primit-o Leonardo în secolul XVIII de la matematicianul francez Guillaume Libri. Acest şir exercită încă o mare fascinaţie pentru matematicieni şi este important în multe zone ale matematicii moderne, mai ales în dinamică şi în tehnologia informaţiei. Din întâmplare, Libri era autor de cărţi de popularizare a matematicii în acea perioadă (oarecum ca şi cartea aceasta!) şi probabil i-a dat lui Leonardo porecla Fibonacci (care înseamnă fiul lui Bonaccio sau copilul Bonaccio) pentru a-l face să pară mai interesant în ochii cititorilor.

Interesul față de matematică a început să înflorească în Europa renascentistă. În anul 1494, Luca Pacioli și-a publicat lucrarea *Summa di Arithmetica*, în care susținea că rezolvarea ecuațiilor cubice era imposibilă cu cunoștințele momentului, cum era și cuadratura cercului. Această problemă a atras atenția matematicienilor de la Universitatea din Bologna, care nu admiteau existența numerelor negative, astfel încât clasificau ecuațiile cubice în trei tipuri. (Dacă era admisă existența numerelor negative, această clasificare devenea inutilă.) Scipio del Ferro, care a murit în anul 1526, a rezolvat toate cele trei tipuri, dar nu a reușit să publice metodele.

Niccolo Fontana (cca 1500-1557, poreclit Tartaglia, „bâlbâitul") a redescoperit rezultatele lui Del Ferro și a fost până la urmă convins să i le arate lui Hieronimo Cardano, „savantul parior". În anul 1545, Cardano a publicat toate cele trei metode în lucrarea *Ars Magna (Marea artă)*, împreună cu soluția ecuațiilor de gradul patru (cuadrice), descoperită de elevul său Ludovico Ferrari (1522-1565). În anul 1572, urmând anumite aspecte ale acestor idei, Raffael Bombelli (1526-1573) a devenit primul matematician care a susținut că rădăcinile pătrate ale numerelor negative (acum numite numere imaginare) ar putea fi utile în algebră.

IEPURII LUI FIBONACCI



JOS **Dacă iepurii se înmulțesc – și niciunul dintre ei nu moare – numărul lor va crește conform unui anumit șir de numere, în care fiecare număr este suma celor două numere precedente – un șir cunoscut ca șirul lui Fibonacci, de la porecla matematicianului Leonardo din Pisa.**

ECUAȚIILE

O ecuație este o expresie ce conține o cantitate necunoscută x, expresie care este egală cu o valoare dată (de obicei, 0). Scopul este de a afla valoarea lui x care verifică ecuația – adică, o face să devină adevărată. De exemplu, ecuația $5x - 10 = 0$ are soluția $x = 2$. O ecuație ca aceasta, în care apare x, dar puterile sale mai mari x^2, x^3, etc. nu apar, este numită ecuație *liniară*. Forma sa generală este $ax+b=0$, unde a și b sunt sunt numere cunoscute: în exemplul dat, $a=5$ and $b=-10$. Soluția ecuației este $x=-b/a$.

Următoarele în ordinea complexității sunt ecuațiile pătratice, care conțin pătratul necunoscutei – de exemplu, $x^2-5x+6=0$. Această ecuație are două soluții: $x = 2$, $x = 3$. Forma generală a unei ecuații pătratice este $ax^2+bx+c=0$, iar soluțiile ei sunt $x=(-b\pm\sqrt{(b^2-4ac)})/2a$.

Simbolul ± arată că poate fi folosit fie semnul + fie semnul -. Când b^2-4ac este mai mare decât zero, această formulă duce la două numere distincte. Când b^2-4ac este zero, ambele semne duc la același număr (și ecuația are o soluție). Când b^2-4ac este mai mic decât zero, formula implică rădăcina pătrată a unui număr negativ. La început, s-a considerat că o asemenea expresie este lipsită de sens, dar ulterior a fost inventată o mulțime mult mai extinsă de „numere complexe", în care numerele negative au rădăcini pătrate.

În continuare, vin ecuațiile cubice $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$, care de obicei au trei soluții (sau uneori mai puține), ecuațiile de gradul patru $ax^4+bx^3+cx^2+dx+e=0$, care au până la patru soluții, continuând cu ecuațiile de gradul cinci, șase, șapte, opt etc.

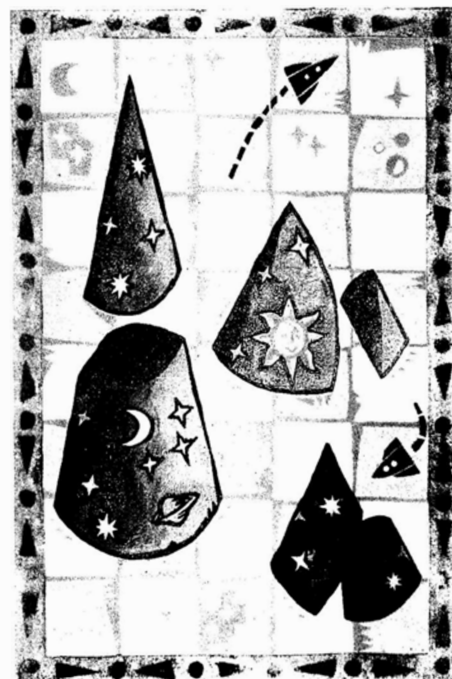
Matematicienii Renașterii Italiene au descoperit formule de rezolvare a ecuațiilor cubice și de gradul patru, dar s-au împotmolit la ecuațiile de gradul cinci. Ulterior, Abel și Galois au demonstrat de ce: nu există o astfel de formulă pentru ele. Dar timp de secole, rezolvarea ecuației de gradul cinci a fost una dintre marile probleme deschise. Totuși, nimeni nu se preocupa de rezolvarea ecuației de gradul șase, deoarece se presupunea că trebuie să fie mai dificilă decât rezolvarea ecuației de gradul cinci.

În general, orice expresie de tipurile menționate anterior, formată prin adunarea puterilor lui x înmulțite cu diferite numere, este numită expresie polinomială, iar numerele sunt numite coeficienți. Cea mai mare putere a lui x care apare în expresie este numită gradul expresiei. Deci, de exemplu, $3x^8+2x^3-9x+5$ este o expresie polinomială de gradul 8 (octică) cu coeficienții 3, 2, - 9, 5.

Căutarea formulelor de rezolvare a ecuațiilor polinomiale nu ar trebui confundată cu căutarea metodelor practice de a le rezolva. Ecuațiile polinomiale de grad mare apar în probleme practice precum calcularea ratei procentuale anuale la facturile cardurilor bancare, ceea ce poate duce la o ecuație de gradul 23). În acest caz este necesară o aproximare a soluției, nu o formulă exactă. Există multe metode simple de a găsi astfel de aproximări. În matematica teoretică, totuși, aproximările sunt mai puțin utile: logica demonstrațiilor necesită în mod normal expresii exacte.

CER ŞI PĂMÂNT

Marile progrese din matematică au mers adesea mână în mână cu marile progrese din cosmologie. Din anumite motive, adesea observăm un nou model matematic mai întâi în cer, abia apoi îl aplicăm problemelor de pe Pământ. Tocmai un astfel de progres a fost făcut de Johannes Kepler (1571–1630), care a devenit astronomul curţii împăratului Rudolf al II-lea (1552-1612).



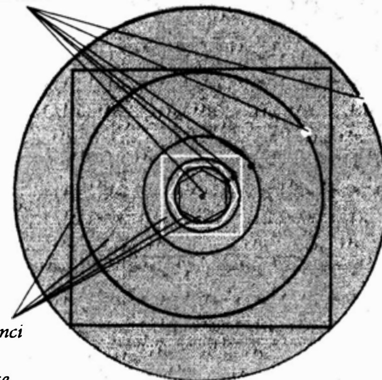
SUS **Elipsele, parabolele şi alte figuri geometrice după care un con poate fi intersectat de un plan au reprezentat baza pentru tot felul de traiectorii, de la planete la nave spaţiale.**

Kepler căuta regularitatea matematică oriunde, de la planete la seminţele de rodie. În acea perioadă, se credea că există numai şase planete: Mercur, Venus, Pământ, Marte, Jupiter şi Saturn. De ce, se întreba Kepler, sunt şase planete? Şi care era modelul care stătea la baza distanţelor lor faţă de Soare? Ştia de la grecii antici că există numai cinci corpuri solide regulate. Şi s-a gândit că între cele şase orbite planetare există cinci spaţii, deci se poate pune câte unul dintre cele cinci solide în fiecare spaţiu liber. Lucrarea sa din anul 1596, *Mysterium Cosmographicum (Misterul lumii cosmice)*, prezenta o aranjare care dădea dimensiuni destul de corecte ale orbitelor şi părea că a descoperit ceva. Din nefericire, sunt cel puţin nouă planete, aşa cum ştim acum. Deci Kepler încerca să explice ceva ce nu era adevărat, iar calculele sale care au dat rezultate corecte erau doar o coincidenţă. Studiile sale asupra altor modele, totuşi, aveau să se dovedească mult mai utile.

Pe vremea lui Kepler, astronomul polonez Nicholaus Copernicus (1473-1543) a descoperit că planetele se rotesc în jurul Soarelui, deşi o mare parte din umanitate, mai ales Biserica Catolică, încercau cumva să se opună adevărului acestei descoperiri. După Copernicus, orbitele planetare erau aproape circulare, fără a fi cercuri; Kepler se întreba care putea fi forma lor exactă. El a petrecut 20 de ani făcând calcule pentru planeta Marte şi a ajuns la concluzia că orbita era o elipsă. A descoperit câteva alte modele: unul se referă la legătura dintre perioada de rotaţie a unei planete şi dimensiunea elipsei, iar altul se referă la legătura dintre viteza planetei şi distanţa ei faţă de Soare. Aceste modele sunt cunoscute acum sub numele de legile lui Kepler asupra mişcării planetelor (vedeţi capitolul 3).

Kepler a deschis matematica cerurilor. Cât despre matematica existenţei noastre pe Pământ, îi datorăm cel mai mult lui Galileo Galilei (1564-1642), mai ales în privinţa mişcării corpurilor. Înainte de Galilei, marea autoritate în domeniul mişcării era Aristotel (384-322 î.Hr.), ale cărui păreri despre mecanică erau bazate pe experienţa umană. De exemplu, Aristotel a teoretizat că un corp în mişcare se opreşte până la urmă, pur şi simplu, din cauza „oboselii“, precum şi că proiectilele de tun cad mai repede decât penele deoarece sunt mai grele. Galilei şi-a dat seama că aceste efecte sunt cauzate de frecarea cu aerul şi de rezistenţa aerului, iar mişcarea fără frecare a corpurilor în vid este un context mai bun pentru o teorie matematică eficientă a mişcării. Aceasta l-a dus la concluzia că variabila-cheie nu este nici poziţia, nici viteza, ci acceleraţia. De asemenea, a înţeles că traiectoria oricărui proiectil supus atracţiei gravitaţionale, care nu întâmpină rezistenţă din partea aerului, este o parabolă. O parabolă, aşa cum este definită de greci, este secţiunea făcută într-un con de un plan paralel cu generatoarea conului – cu alte cuvinte, traiectoria unui proiectil de tun, sau a unei mingi de tenis, în zilele noastre.

LEGEA LUI KEPLER



DREAPTA **Marile descoperiri ale lui Kepler despre orbitele planetelor au pornit de fapt de la o idee greşită. El credea că cele cinci spaţii goale dintre cele şase planete cunoscute atunci au apărut deoarece există exact cinci corpuri solide regulate, fiecare aflat în câte unul dintre spaţii.**

PRIMA UNIFICARE

Puterea intelectuală a matematicii derivă în mare parte din unitatea ei: fiecare idee matematică se conectează cu celelalte şi le influenţează. Primul mare pas către structura integrată de azi a matematicii a fost unificarea algebrei şi a geometriei, care a fost făcută de filosoful francez René Descartes (1596-1650). Pentru filosofi, cea mai mare contribuţie intelectuală a lui Descartes a fost filosofia lui, dar de fapt puţine dintre ideile lui filosofice asupra lumii au supravieţuit atenţiei ştiinţei moderne. Matematicienii îl consideră lucrările matematice mult mai importante, deoarece prezintă mai mult decât un interes istoric, iar moştenirea sa rămâne relevantă până în zilele noastre.

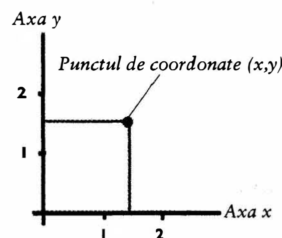
Descoperirea cu cea mai mare influenţă a lui Descartes a fost faptul că există o conexiune profundă între geometrie şi algebră. Să considerăm baza unui grafic obişnuit desenat pe o foaie de hârtie: două linii, numite axe, care formează un unghi drept. Punctul în care se intersectează se numeşte origine. Poziţia oricărui punct P poate fi dată prin măsurarea distanţei sale faţă de origine de-a lungul unei axe, axa x, şi de-a lungul celeilalte axe, axa y. Perechea de numere x,y este reprezentarea în coordonate a punctului P. Descartes a observat că afirmaţiile geometrice despre astfel de puncte – sau seturi de puncte, ca liniile, cercurile şi alte curbe – pot fi traduse printr-o procedură de rutină în afirmaţii algebrice despre coordonate. De exemplu, afirmaţia geometrică „P se află pe un cerc de rază 1 cu centrul în origine“ se traduce sub forma „coordonatele x,y ale lui P satisfac ecuaţia $x^2 + y^2 = 1$“. Invers, orice afirmaţie algebrică despre x şi y poate fi interpretată geometric.

Importanţa ideii lui Descartes – care se reduce la câteva remarci obişnuite într-o carte de filosofie – nu este că face ca algebra sau geometria să devină depăşite. Ideea este importantă deoarece permite folosirea ambelor metode la rezolvarea unei probleme. Uneori adoptarea unei abordări geometrice duce la progres, alteori o abordare algebrică are acest efect. După Descartes, matematicienii au putut folosi oricare dintre abordări era mai rodnică, sau puteau trece de la una la alta după cum doreau.

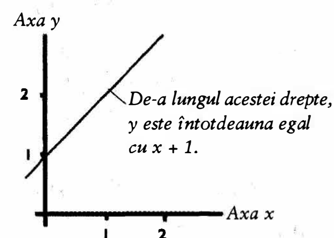
COORDONATELE CARTEZIENE

Descartes a descoperit că ambele ramuri ale matematicii – algebra şi geometria – pot fi folosite pentru a rezolva aceeaşi problemă. Deci, de exemplu, dacă un matematician doreşte să afle coordonatele unui punct, iată cum procedează:

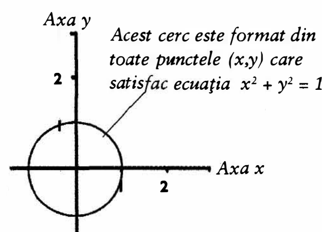
LUCRUL CU COORDONATELE



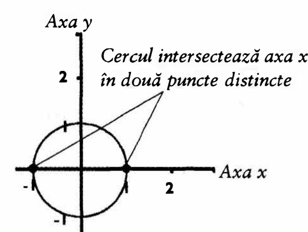
Iată cum putem obţine coordonatele unui punct.



Iată o reprezentare grafică a punctelor (x,y) care satisfac ecuaţia $y = x + 1$ (în acest caz, o dreaptă).



Iată o reprezentare grafică a punctelor (x,y) care satisfac ecuaţia $x^2 + y^2 = 1$



Pentru a arăta că cercul intersectează axa x în două puncte distincte, putem folosi geometria, ca mai sus, sau algebra, ca mai jos

DETERMINAREA ALGEBRICĂ A COORDONATELOR

Cercul are ecuaţia $x^2 + y^2 = 1$

Axa x are ecuaţia $y = 0$

Substituim a doua ecuaţie în prima şi obţinem

$$x^2 + 0^2 = 1$$

adică

$$x^2 = 1$$

Rezolvăm şi obţinem:

$$x = 1, x = -1$$

Să ne amintim că $y = 0$, deci soluţiile sunt punctele de coordonate

(1, 0) şi (-1, 0)

(Acestea sunt, de fapt, coordonatele celor două puncte marcate în a patra diagramă de sus.)

PĂRINTELE MARII TEOREME

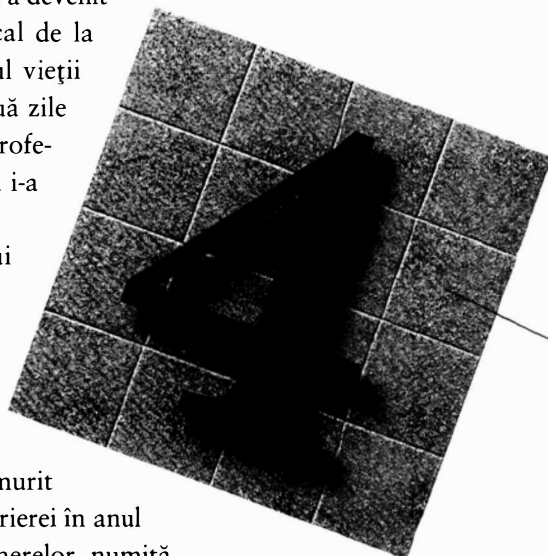
Matematica are un număr mic de probleme nerezolvate celebre – probleme puse cu multe secole în urmă, dar care, în ciuda eforturilor concentrate ale matematicienilor lumii, nu au fost nici dovedite nici infirmate. Până în anul 1994, o astfel de problemă, pusă de Pierre de Fermat, a fost oarecum între primele trei sau patru. A durat peste 350 de ani ca matematicienii lumii să-i găsească o soluţie.

Fermat s-a născut în anul 1601. Tatăl lui, Dominique Fermat, vindea piele, iar mama lui, Claire de Long, era fiica unei familii de avocaţi parlamentari. În anul 1648, Fermat a devenit consilier regal în parlamentul local de la Toulouse, unde a lucrat tot restul vieţii sale. A murit în anul 1665, la două zile după terminarea unui caz legal. Profesiunea sa era dreptul, dar pasiunea i-a fost matematica.

Cele mai influente idei ale lui Fermat priveau teoria numerelor, studiul numerelor întregi obişnuite. Teoria numerelor a fost inventată de Diofant din Alexandria. Ştim foarte puţine despre el: probabil era grec şi se crede că a murit la 84 de ani. El a fost la apogeul carierei în anul 250 şi a scris o carte de teoria numerelor, numită *Aritmetica.* Aceasta conţinea, printre altele, un răspuns complet la problema tripletelor pitagorice: găsiţi două pătrate care adunate dau alt pătrat, $3^2 + 4^2 = 5^2$ sau $5^2 + 12^2 = 13^2$.



Adunând pătratul desenat pe latura de trei unităţi...



Cu pătratul desenat pe latura de patru unităţi...



Obţinem pătratul desenat pe ipotenuză care trebuie să aibă latura de cinci unită

DREAPTA **Fermat nu mai avea loc pe marginea lucrării *Aritmetica* să noteze demonstraţia pe care a descoperit-o despre numerele pitagorice. A durat 350 de ani să fie redescoperită această demonstraţie.**

STÂNGA **Marea teoremă a lui Fermat se referă la aşa-numitele numere pitagorice. Faimoasa teoremă a lui Pitagora despre triunghiurile dreptunghice arată că suma pătratelor catetelor este egală cu pătratul ipotenuzei. Numerele pitagorice sunt seturile de câte trei pătrate despre care vorbeşte teorema. Teorema lui Fermat întreba dacă şi cuburile a două numere dau cubul unui al treilea număr. Fermat a susţinut că nu este posibil..**



PIERRE DE FERMAT
1601–1665
Fermat a fost unul dintre matematicienii cei mai străluciţi ai secolului XVII şi şi-a adus multe contribuţii la teoria numerelor – studiul numerelor întregi. Dar a lăsat un misterios indiciu privind o demonstraţie importantă a unui rezultat numit azi marea teoremă a lui Fermat, care a intrigat matematicienii secole întregi.



Fermat avea o copie a lucrării *Aritmetica*, pe marginile căreia obişnuia să-şi noteze ideile. Trebuie să se fi gândit la numerele pitagorice cam prin anul 1637, când s-a întrebat ce-ar fi dacă, în loc de pătrate, ar fi cuburile numerelor. Nu a ajuns nicăieri, aşa că a decis că există un motiv al acestui eşec. În copia lucrării *Aritmetica* a mâzgălit cea mai faimoasă notă marginală din istoria matematicii:

> „Este imposibil a descompune un cub ca sumă a două cuburi, puterea a patra a unui număr în suma puterilor a patra a două numere, sau în general orice putere mai mare în suma a două puteri de acelaşi fel; am găsit o remarcabilă demonstraţie a acestui fapt, dar marginea paginii este prea mică pentru a o cuprinde."

„Demostraţia remarcabilă" a lui Fermat nu a fost găsită vreodată, iar experţii cred că, orice ar fi avut Fermat în minte, trebuie să fi fost greşit. Rezultatul conjecturat de el a devenit cunoscut sub numele „marea teoremă a lui Fermat" deoarece a fost singura sa teoremă pe care nimeni nu reuşise să o demonstreze. Într-un fel, i-a făcut un deserviciu lui Fermat, distrăgând atenţia de la contribuţiile sale importante în matematică, de la acele teoreme care au transformat teoria numerelor dintr-un mic izvor subteran într-o parte esenţială a curentului matematic.

Totuşi, ar trebui să ne amintim că Fermat a avut şi alte sucese. De exemplu, a putut să demonstreze că puterea a patra a unui număr nu se poate scrie ca suma puterilor a patra a două numere, deci ecuaţia $x^4 + y^4 = z^4$ nu are soluţii întregi.

LOGARITMII

Matematica înseamnă mult mai mult decât sume sau calcule aritmetice. Totuşi, fără progresele importante din tehnica de calcul, matematica nu ar fi avansat vreodată la starea sa curentă şi nu ar fi exercitat vreodată prea multă atracţie pentru lumea dinafara ei. Ştiind acest lucru, matematicienii şi-au demonstrat întotdeauna aptitudinile şi au arătat că munca lor este importantă făcând calcule legate de taxe şi impozite, măsurători ale terenurilor, prezicând eclipse şi realizând horoscoape. Matematicienii medievali şi renaşcentişti chiar s-au provocat la întreceri publice pentru a stabili cine era mai bun.

Până la dezvoltarea computerelor electronice practice, la mijlocul secolului XX, a existat o îmbunătăţire în tehnica de calcul care s-a remarcat dintre celelalte: inventarea logaritmilor. Folosirea logaritmilor înlocuieşte problema complicată a înmulţirii a două numere cu sarcina mult mai simplă de a aduna două numere corespunzătoare, diferite de cele iniţiale. Iar operaţiile excesiv de dificile, ca extragerea rădăcinii de ordinul şapte dintr-un număr, sunt de asemenea transformate în probleme uşoare. Logaritmii au dat matematicii un impuls major, oferind o rezolvare practică unei game largi de aplicaţii.

Logaritmii au fost inventaţi cam în anul 1594 de către John Napier, un scoţian care a publicat ideea în anul 1614. El a propus această idee în contextul trigonometriei sferice, folosită în astronomie, al cartografiei şi navigaţiei, deci forma actuală în care apărea ascundea adevărata simplitate a conceptului. Noile idei matematice apar adesea mai întâi într-o formă complicată, apoi sunt distilate până la esenţă, iar abordarea lui Napier a fost substanţial îmbunătăţită şi clarificată de către Henry Briggs în anul 1615.

Folosirea logaritmilor implică deţinerea unor tabele care conţin logaritmul calculat al fiecărui număr. Pentru a înmulţi două numere, trebuie doar să le găsiţi logaritmii în tabel, să le adunaţi pentru a obţine alt logaritm, apoi să consultaţi tabelul pentru a afla al cărui număr este logaritmul. De exemplu, calculul 48,73 × 678,34 = 33055,51 este destul de uşor dacă aveţi un calculator, dar altfel este neplăcut. Aflarea logaritmilor numerelor îl transformă într-o simplă problemă de anunare:

logaritm din 48,73 este 1,6877964
logaritm din 678,34 este 2,8314474
suma logaritmilor este 4,5192438

Căutând 4,5192438 în tabelă obţinem că este logaritmul lui 33055,51.

Deşi logaritmii nu mai sunt folosiţi pentru înmulţiri, fiind înlocuiţi de calculatoare şi computere, continuă să aibă o importanţă vitală datorită modului în care fac legătura dintre adunare şi înmulţire.



WILHELM GOTTFRIED LEIBNIZ
1646–1716
Marele matematician german Leibniz a fost unul dintre iniţiatorii ramurii matematicii numite calcul diferenţial şi integral, care se ocupă de calcularea ratei de schimbare (a derivatei) a unei mărimi.

JOS **Datorită inventării calculului diferenţial şi integral, matematicienii aveau la dispoziţie un instrument minunat pentru calcularea unor lucruri, ca modul în care zboară prin aer un proiectil de tun. Dar matematicienii din secolul XVII şi-au disputat paternitatea ideii. A fost Newton primul care a vut ideea? Sau Leibniz, care a publicat-o primul?**

REVOLUŢIA NEWTONIANĂ

Isaac Newton, născut în Lincolnshire, Anglia, în anul 1642, este o figură centrală şi în matematică şi în fizică. Aşa cum a observat John Maynard Keynes, nu a fost atât primul dintre savanţii moderni, ci mai degrabă ultimul dintre magicieni. Newton avea o latură mistică; era foarte interesat de alchimie, de exemplu. A dat puţine semne că ar fi un geniu până când, forţat să părăsească Cambridge-ul şi să plece acasă în 1665-1666 pentru a evita ciuma, şi-a ocupat timpul studiind multe dintre ideile-cheie care ulterior au apărut în capodopera sa, *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis (Principiile matematice ale filosofiei naturale)*.

În lucrarea sa de trei volume, Newton a prezentat „sistemul său asupra lumii". Preluând sugestii de la Kepler, Galilei şi alţii, el a prezentat legile matematice de mişcare a corpurilor şi legile forţelor gravitaţionale. Înarmat cu tehnici matematice rudimentare, dar eficiente, el a aplicat aceste noi descoperiri în fizică. Aici a descoperit forma eliptică a orbitelor planetare, principiile generale ale mişcării undelor (ca sunetul) în aer şi în apă, masa Soarelui, densitatea Pământului, faptul că Pământul este turtit la poli, precesia echinocţiilor, caracteristicile mareelor, anumite neregularităţi în mişcarea Lunii şi traiectoriile cometelor. Pentru oricare dintre aceste realizări ar fi meritat premiul Nobel, dacă ar fi existat în acea vreme.

Şi totuşi, multe dintre marile realizări matematice ale lui Newton sunt poate şi mai semnificative decât cele din fizică. Documentele sale nepublicate – manuscrisele de la Portsmouth – arată că în momentul scrierii lucrării *Principia*, Newton stăpânea bine calculul diferenţial şi integral. Calculul diferenţial şi integral se referă la calcularea matematică a ratei instantanee de schimbare a unei mărimi (derivata) şi are două mari ramuri. Calculul diferenţial permite calcularea acestor rate, având aplicaţii geometrice precum determinarea tangentelor la curbe. Calculul integral face operaţia inversă: dată fiind rata schimbării unei mărimi (derivata), află acea mărime. Cele mai directe aplicaţii geometrice ale calculului integral se regăsesc în calculul ariilor şi al volumelor. Newton nu a dezvoltat calculul diferenţial şi integral pentru a răspunde la întrebările despre gravitate şi căderea corpurilor, ci pentru a-l ajuta în studiile sale.

Newton nu a prezentat acest material în lucrarea *Principia* folosind calculul diferenţial şi integral; în schimb, a decis să-şi prezinte argumentele sub forma geometriei clasice. Rezultatul este un *tur de forţă* geometric, cu atât mai impresionant cu cât intuiţia din spatele său este de fapt ascunsă. Citindu-l, te întrebi „Cum a putut Newton să se gândească la asemenea demonstraţii geometrice ciudate?". Răspunsul este „Le-a obţinut din ideile pe care le-a ţinut în mânecă". Versiunea lui Newton de calcul diferenţial şi integral a fost publicată abia după moartea lui, cu numele *Method of Fluxions (Metoda derivatelor)*, în anul 1732.



Aceleaşi idei, exprimate în mod diferit, au format o parte importantă a muncii de o viaţă a matematicianului şi filosofului german Wilhelm Gottfried Leibniz (1646-1716), iar această descoperire duală a lui a dus la o controversă încinsă, dar fără rost, între matematicienii englezi şi colegii lor de pe continent. Adevărul este simplu: Newton a fost primul care a avut ideile, dar Leibniz – fără să ştie de munca lui Newton – le-a publicat primul. Niciunul nu a furat nimic de la celălalt.

Din punct de vedere modern, cea mai mare realizare a lui Newton nu a fost calculul diferenţial şi integral în sine, ci ideea cuprinzătoare că natura poate fi modelată folosind ecuaţii diferenţiale – ecuaţii care implică folosirea derivatelor. De exemplu, prima lege a mişcării a lui Newton spune că acceleraţia unui corp este proporţională cu forţa care acţionează asupra lui. Acceleraţia este derivata vitezei (în funcţie de timp), iar viteza este derivata poziţiei (tot în funcţie de timp). Deci legea lui Newton *enunţă o proprietate a derivatei derivatei* cantităţii care este cel mai uşor de observat – poziţia.

Totuşi, legea acceleraţiei este simplă şi generală, în timp ce orice încercare de a formula o lege a mişcării folosind poziţia eşuează din cauza gamei largi de forţe *variabile* care pot acţiona asupra unui corp.

Simplitatea legii matematice pentru acceleraţie conduce la o senzaţie acută că acceleraţia este mai importantă decât poziţia şi la o idee filosofică: natura este, în esenţă, simplă. Dacă examinăm natura în mod corect – în modul lui Newton – o ordine minunată şi satisfăcătoare apare din haosul aparent.



ÎMPĂRŢIREA LA ZERO

Calculul diferenţial şi integral nu se referă la numere, ci la funcţii: legi matematice, adesea prezentate folosind formule, care atribuie fiecărui număr x dintr-o mulţime alt număr f(x). De exemplu, funcţia „pătrat" este definită de legea $f(x) = x^2$. Ideea-cheie a calculului diferenţial şi integral este derivata sau rata de schimbare a unei funcţii. Şi Newton şi Leibniz au definit-o la fel, de fapt, astfel: raportul dintre cantitatea cu care se schimbă valoarea unei funcţii şi cantitatea mică cu care se schimbă variabila x, apoi determinarea limitei acestui raport pe măsură ce cantitea cu care se schimbă variabila devine tot mai mică.

Acest tip de calcul a fost atacat de către episcopul Berkeley, prelat, filosof şi matematician irlandez, care susţinea că ar însemna să se împartă zero la zero, operaţie fără sens logic. Matematicienii au căutat refugiu în analogiile fizice şi în „spiritul fineţii" ce se opunea „spiritului logicii", dar Berkeley i-a descumpănit. A trecut peste un secol pentru a răspunde la obiecţiile lui, folosind o definire atentă a trecerii la limită; astfel, calculul diferenţial şi integral a devenit un subiect logic mai profund, numit analiză matematică. Numeni, cu excepţia lui Berkeley, nu s-a îngrijorat prea tare, iar calculul diferenţial şi integral a înflorit, în ciuda acestei probleme de logică.

LEGILE FUNDAMENTALE

Întreaga algebră se bazează pe anumite proprietăţi generale ale numerelor, iar aceste proprietăţi au denumiri ştiinţifice. Să presupunem că a, b, c sunt numere. Atunci proprietăţile lor principale sunt:

Comutativitatea adunării **– indiferent în ce ordine sunt adunate numerele, rezultatul este acelaşi:**

$$a+b=b+a$$

Asociativitatea adunării **– indiferent cum sunt grupate numerele la adunare, rezultatul este acelaşi:**

$$a+(b+c)=(a+b)+c$$

Comutativitatea înmulţirii **– indiferent în ce ordine sunt înmulţite numerele, rezultatul este acelaşi:**

$$ab=ba$$

Asociativitatea înmulţirii **– indiferent cum sunt grupate numerele la înmulţire, rezultatul este acelaşi:**

$$a(bc)=(ab)c$$

Distributivitatea **– când înmulţim şi adunăm numerele, ordinea în care sunt grupate afectează totalul:**

$$a(b+c)=ab+ac$$

Moştenirea lui Newton

Succesorii lui Newton i-au exploatat imediat descoperirea. Printre cei mai activi dintre ei era Leonhard Euler, născut în Basel, Elveţia în anul 1707, în mod sigur cel mai prolific matematician din istorie. Cariera lui Euler este întreţesută cu cucerirea mărilor, poate cea mai mare provocare a timpului său. Folosirea corpurilor cereşti în navigaţie, la modă în acea perioadă, l-a impulsionat pe Euler să dezvolte primul răspuns obţinut prin calcul la mişcarea celor trei corpuri cereşti – Soarele, Luna şi Pământul.

Contribuţia lui Euler se întinde peste întreaga matematică, de la teoria numerelor la mecanică. El a scris nenumărate manuale elegante, care nu numai că au sistematizat rezultatele din epoca lui, ci le-au şi extins.

Cartea sa din anul 1736, *Mecanica*, a fost avut o deosebită influenţă: el a folosit din nou punctul de vedere geometric din *Principia* lui Newton în mod explicit în analiza matematică, care acum purta toată încărcătura calculului diferenţial şi integral. Abordarea sa pentru mişcarea în spaţiu a unui corp rigid este încă folosită azi, fiind denumită „unghiurile lui Euler".

El a scris trei lucrări esenţiale de analiză matematică, dar prima contribuţie care a avut un impact major asupra matematicii a fost calculul variaţiilor, în lucrarea din anul 1744, *Methodus Inveniendi Lineas Curavas Maximi Minimive Proprietate Gaudentes (Metode de studiu al proprietăţilor de maxim şi minim ale liniilor curbe)*.



Aşa cum sugerează titlul, scopul calculului variaţiilor este de a găsi curbele şi suprafeţele pentru care o anumită expresie e minimă sau maximă.

Calculul variaţiilor îşi are originea în problema brahistocronului – dacă rostogoliţi o minge pe o curbă, ce curbă permite mingii să ajungă cel mai repede jos? Johann Bernoulli a rezolvat această problemă în anul 1696: răspunsul este un cicloid inversat – traiectoria urmată de un punct pe un cerc în timp ce cercul se roteşte pe o linie dreaptă. Şi Euler a făcut incursiuni în fizica matematică, mai ales în hidrodinamică şi elasticitate, punându-şi amprenta asupra întregii matematici moderne.

Ecuaţia undei

Metodele lui Newton de rezolvare a diferitelor ecuaţii diferenţiale erau rudimentare – un fapt care nu l-a împiedicat să le folosească excelent, într-atât de mare îi era talentul. Succesorii lui au extins ideea de ecuaţii diferenţiale în toate zonele fizicii matematice – dinamica fluidelor, căldură, electrostatică, magnetism, sunet, lumină – extinzând conceptul la ecuaţii diferenţiale parţiale, ce presupun derivate după diferite variabile, ca spaţiul şi timpul.

Una dintre cele mai importante ecuaţii diferenţiale parţiale este ecuaţia undei, care descrie forma şi mişcarea tuturor tipurilor de unde. Ecuaţia undei a fost obţinută din studiile timpurii asupra vibraţiilor corzii de vioară, deşi problema nu avea aplicaţie practică la proiectarea instrumentelor muzicale din acele timpuri şi era privită ca problemă pur teoretică. Acum, când computerele pot rezolva şi ecuaţia de bază a undelor şi variantele sale mai puţin ideale pentru formele şi materialele complicate ale instrumentelor reale, asemenea aplicaţii sunt de rutină.

Probabil unul dintre primele rezultate importante a fost obţinut în anul 1714 de către matematicianul englez Brook Taylor (1685-1731), care a calculat frecvenţa de vibraţie fundamentală a coardelor unei viori în funcţie de lungime, tensiune şi densitate.

Coarda poate produce multe note muzicale diferite, în funcţie de poziţia nodurilor, sau a punctelor de amplitudine minimă. Pentru frecvenţa fundamentală, numai punctele de la capete sunt noduri. În cazul în care coarda are un nod în centru, ea produce o notă cu o octavă mai înaltă. Cu cât are mai multe noduri, cu atât este mai mare frecvenţa notei, iar aceste frecvenţe mai înalte se numesc sunete secundare.

Vibraţiile sunt prezentate ca unde staţionare – forma coardei este aceeaşi în orice moment, exceptând faptul că este întinsă sau comprimată perpendicular pe direcţia ei – iar forma undelor



LEONHARD EULER
1707–1783
Euler a fost unul dintre cei mai prolifici matematicieni ai tuturor timpurilor, făcând descoperiri importante în aproape toate zonele matematicii, cum ar fi şi rezolvarea problemei celor trei corpuri – mişcarea relativă a Pământului, Lunii şi Soarelui. Euler a pus bazele moderne ale calculului diferenţial şi integral şi ale trigonometriei, creând aproape de unul singur calculul diferenţial.

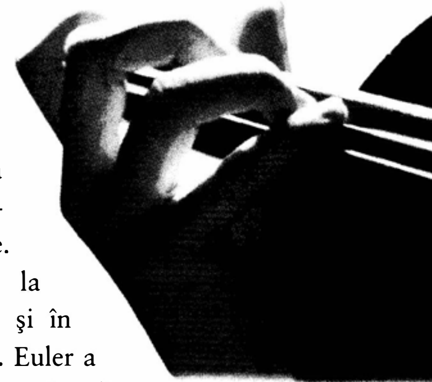
SUS STÂNGA **Una dintre problemele asupra căror s-a aplecat Euler a fost brahistocronul – adică forma cubei pentru o pantă care permite unei mingi să se rotească în jos cel mai repede. Problema a fost rezolvată ulterior de compatriotul lui Euler, Johann Bernoulli.**



SUS **Euler şi-a adus contribuţii fundamentale la studiul undelor cercetând frecvenţa vibraţiilor în cazul instrumentelor de percuţie şi al corzilor de vioară. Descoperirile lui Euler au creat premizele pentru înţelegerea undelor electromagnetice – care stau la baza telecomunicaţiilor moderne.**

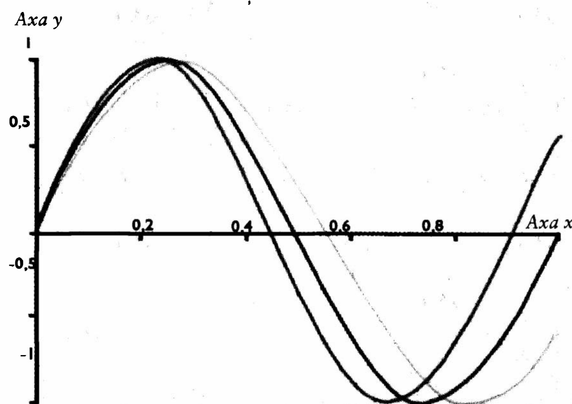
este sinusoidală. Dar în anul 1746 Jean le Rond d'Alembert a demonstrat că lucrurile nu sunt chiar atât de simple. În realitate, există multe vibraţii ale corzii de vioară care nu sunt unde sinusoidale staţionare. De fapt, el a arătat că forma undei poate începe oricum. Euler explorat problema mult mai mult, iar prin anul 1748 a enunţat şi a rezolvat ecuaţia undei unei corzi. Aceste descoperiri au declanşat o controversă de un secol, având ca rezultat faptul că se pot obţine toate vibraţiile posibile ale corzii pur şi simplu suprapunând aceste unde sinusoidale în proporţii potrivite.

În anul 1759 Euler a extins studiul la instrumentele de percuţie, obţinând o ecuaţie a undei pentru o membrană bidimensională. Instrumentele de percuţie diferă de corzile de vioară, nu numai ca dimensiune – membrane plate bidimensionale – ci şi prin faptul că au margini de forme mult mai interesante. Marginile sunt absolut cruciale pentru acest subiect. Marginea unei membrane poate fi orice curbă închisă, iar condiţia cheie este ca rama ei să rămână fixă. Această condiţie de margine restrânge foarte mult mişcarea posibilă a membranei. Problemele puse de corzile de vioară şi de instrumentele de percuţie pot părea limitate ca relevanţă, dar pentru matematicienii din secolul XVIII extindeau domeniul ecuaţiei undelor la multe zone din fizică, arătând cât sunt de importante. Undele apar nu numai la instrumentele muzicale, ci şi în fizica luminii şi a sunetului. Euler a descoperit o versiune tridimensională a ecuaţiei undelor, pe care a aplicat-o undelor sonore. Cu aproape un secol mai târziu, James Clerk Maxwell (1831-1879) a extras aceeaşi expresie matematică din ecuaţia sa pentru electromagnetism şi a prezis existenţa undelor radio. Fără studiul timpuriu al matematicienilor asupra instrumentelor muzicale, nu am avea televiziunea.



SUS **În anul 1748, Euler a descoperit ecuaţia pentru undele ce reprezintă vibraţiile unei corzi de vioară.**

ECUAȚIA UNDELOR



SUS **Ecuaţia undelor, care este o ecuaţie diferenţială parţială, descrie mişcările unor unde cum sunt lumina, sunetul şi undele radio. Rezolvarea ei a fascinat matematicienii timp de secole.**

Căldura, mecanica, şi sistemul solar

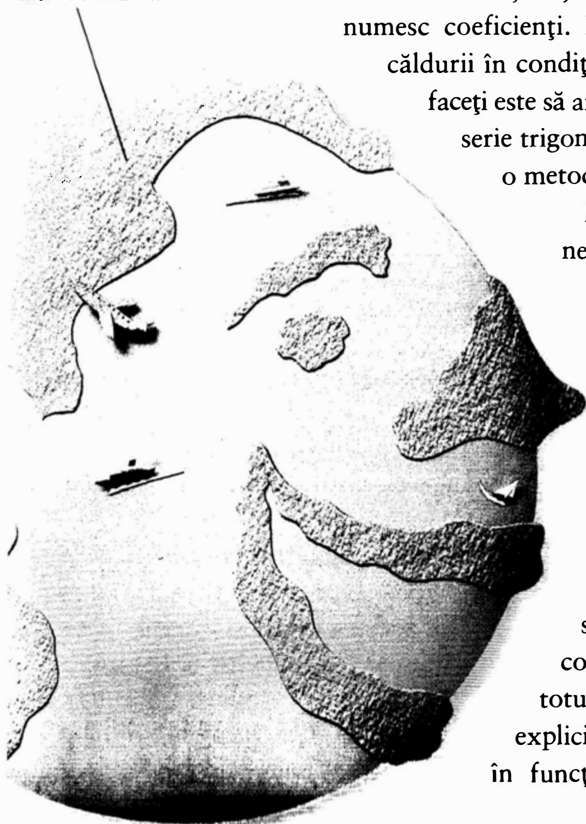
Altă ecuţie diferenţială parţială cheie este ecuaţia căldurii, introdusă de către Joseph Fourier (1768-1830) în anul 1822, în lucrarea *Théorie Analytique de la Chaleur (Teoria analitică a căldurii)*, despre fizica fluxului de căldură. De exemplu, să ne imaginăm că luăm o bară de metal şi o încălzim la un capăt. Care va fi temperatura la celălalt capăt după două minute? Care va fi temperatura în orice punct fixat de pe bară? Ecuaţia căldurii dă răspunsul, dar nu în mod direct: în schimb, descrie evoluţia temperaturii în funcţie de spaţiu (de-a lungul barei) şi în timp. Pentru a determina temperatura, trebuie să rezolvaţi ecuaţia căldurii.

Fourier a găsit o metodă minunată, dar a introdus ideea într-un mod uimitor de nepotrivit. A pretins că a arătat că orice soluţie poate fi scrisă ca serie infinită, ai cărei termeni sunt expresii ale funcţiilor sinus şi cosinus din trigonometrie. De exemplu, soluţia ar putea arăta aşa:

$\sin(x) + {}^{1}/{}_{2} \sin(2x) + {}^{1}/{}_{3} \sin 3x + \ldots - \cos(x) - {}^{1}/{}_{4} \cos(2x) - {}^{1}/{}_{9}(\cos 3x) - \ldots$.

Aici numerele 1, $^{1}/_{2}$, $^{1}/_{3}$... şi -1, -$^{1}/_{4}$, -$^{1}/_{9}$... se numesc coeficienţi. Pentru a rezolva ecuaţia căldurii în condiţiile date, tot ce trebuie să faceţi este să aflaţi coeficienţii din această serie trigonometrică, iar Fourier avea o metodă de a face asta.

Metoda părea să funcţioneze în practică, dar nu era foarte clar că se baza pe principii logice solide. În particular, nu era clar că seria trigonometrică avea sens, sau că orice soluţie este o asemenea serie. Fourier a pretins că are o „demonstraţie", dar era prea stufoasă pentru a ajunge la concluzie. Concluzia era totuşi frumoasă: o formulă explicită pentru coeficienţii seriei în funcţie de anumite integrale, implicând şi funcţiile trigonometrice sin şi cos. Până la epoca lui Dirichlet şi a lui Riemann au fost găsite căi mult mai simple de a obţine formula lui Fourier de aflare a coeficienţilor. Astfel, a fost pregătit decorul pentru o criză majoră de încredere, cu jumătate de secol mai târziu, când matematicienii au înţeles în final cât de complexă era întreaga zonă de studiu. A durat peste cincizeci de ani până când s-au lămurit lucrurile, concluzia fiind că formula lui Fourier era corectă numai dacă anumite condiţii tehnice erau îndeplinite. Noua descoperire importantă avea să fie reprezentată de acele condiţii. Cu alte cuvinte, „demonstraţia" lui Fourier era greşită, dar răspunsul dat de el era adesea corect: după un secol de muncă grea, cu toţii ştiau exact când.



JOS În mod normal, vedem întotdeauna faţa Lunii de pe Pământ deoarece, deşi Luna continuă să se rotească încet, continuă să se mişte încet şi în jurul Pământului. Rezultatul este că o jumătate a Lunii rămâne mereu invizibilă.

Lagrange şi Laplace

Euler a fost cel mai prolific matematician al tuturor timpurilor, dar ca originalitate este pe locul doi, după matematicianul francez Joseph-Louis Lagrange (1736-1813), care este acum considerat cel mai mare matematician al secolului XVIII. Lagrange s-a născut într-o familie bogată în anul 1736, dar tatăl lui a pierdut averea familiei într-o nefericită serie de aventuri speculative de afaceri. Matematica a avut de câştigat de pe urma ghinionului lui Lagrange, deoarece a trebuit să-şi găsească o cale de a-şi câştiga existenţa.

Lagrange a început să se ocupe de acest domeniu aproape din întâmplare, când a dat peste un eseu al lui Edmund Halley (1656-1742) (cunoscut mai ales pentru studiul său asupra cometei denumite apoi după el) asupra calităţilor calculului diferenţial şi integral al lui Newton. Talentul lui Lagrange a fost prodigios: la vârsta de 16 ani era profesor de matematică la Royal Artillery School din Turin, iar înainte de a împlini 23 de ani a conceput – şi probabil că studiase în profunzime – proiectul său principal: folosirea calculului variaţiilor ca bază şi pentru mecanica solidelor şi pentru mecanica fluidelor. Acest proiect i-a ocupat cea mai mare parte din munca de o viaţă: lucrarea *Mécanique Analytique (Mecanica analitică)* a fost în sfârşit publicată în anul 1788, când avea 52 de ani.

Între timp, Lagrange a studiat teoria numerelor, probabilităţile, sunetul şi problema supărătoare a coardei vibrante. În anul 1764 a rezolvat problema dificilă a libraţiei Lunii. Luna arată întotdeauna aceeaşi faţă Pământului, ca rezultat al interacţiunii cu Pământul, dar există mici neregularităţi în poziţia ei: cea mai semnificativă dintre acestea se numeşte libraţie. De asemenea, a făcut mari progrese în înţelegerea mişcării lunilor (sateliţilor) lui Jupiter – o problemă cu şase corpuri, în care sunt luate în considerare influenţele importante a lui Jupiter şi a Soarelui.

Cariera altui matematician francez, Pierre-Simon marchiz de Laplace (1749-1827), are multe în comun cu cea a lui Lagrange. În epoca sa, Laplace era considerat în general un matematician mai bun decât Lagrange, dar verdictul posterităţii inversează ordinea. Cea mai importantă contribuţie a lui Laplace este în domeniul mecanicii cereşti, iar el s-a aplecat asupra unei mari chestiuni: mişcarea întregului Sistem Solar.

Punctul de apogeu al cercetării sale îl reprezintă lucrarea *Mécanique Céleste (Mecanica cerească)*, publicată pe fragmente între 1799 şi 1825. În ea pune bazele întregului domeniu, făcând incursiuni majore în probleme ca stabilitatea Sistemului Solar. Va rămâne el indefinit în forma prezentă sau este posibil ca o planetă să se piardă în spaţiu, sau să se prăbuşească în Soare? Azi ştim, datorită proprietăţilor haotice ale sistemelor dinamice nelineare, că nu poate fi dat un răspuns precis la această întrebare. Mişcarea depinde prea mult de starea Sistemului Solar la un moment dat: stările stabile şi cele instabile sunt întreţesute. Dar fără contribuţiile iniţiale ale lui Laplace, nu am fi atins stadiul de a putea justifica un asemenea răspuns.

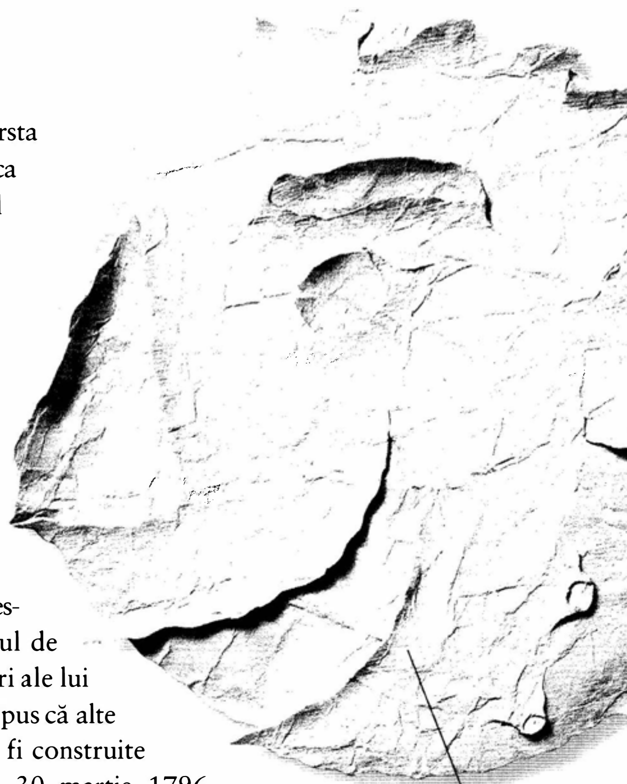
VULPOIUL MATEMATICII

A Se spune că cel mai mare matematician care a trăit vreodată este Carl Friedrich Gauss, născut în anul 1777. Gauss, fiul unui muncitor agricol, era precoce – a corectat calculele aritmetice ale tatălui său încă de când avea trei ani. Până la 14 ani, faima i s-a răspândit, iar Carl Wilhelm Ferdinand, duce de Brunswick, a început să-i suporte educaţia. La vârsta de 19 ani, Gauss încerca să decidă dacă viitorul lui se afla în lingvistică sau în matematică atunci când a făcut o descoperire deosebită.

Grecii ştiau cum să folosească rigla şi compasul pentru a construi poligoane regulate cu 3, 5 şi 15 laturi, precum şi poligoanele regulate corespunzătoare cu numărul de laturi înmulţit cu puteri ale lui 2. Toată lumea a presupus că alte poligoane nu mai pot fi construite în acest mod, dar în 30 martie 1796 Gauss a descoperit cum se poate construi un poligon regulat cu 17 laturi. Acest rezultat neaşteptat l-a determinat pe Gauss să aleagă matematica, iar el a început să ţină un jurnal matematic criptic în care şi-a înregistrat marile descoperiri. Construcţia poligonului regulat cu 17 laturi este prima dintre marile sale înregistrări. (Ulterior, matematicienii au folosit metoda lui Gauss pentru a construi poligoane regulate cu 257 şi 65537 de laturi – singurele noi posibilităţi cunoscute.)

Marea pasiune a lui Gauss a fost teoria numerelor – studiul numerelor întregi. Ar putea părea că asemenea lucruri neînsemnate nu meritau atenţia celui mai mare matematician al tuturor timpurilor, dar dimpotrivă. Numerele întregi sunt minunat de subtile, iar multe probleme rămase nerezolvate în matematică se referă la ele – marea teoremă a lui Fermat, discutată anterior, este numai un exemplu. Simplitatea unui concept merge adesea mână în mână cu profunzimea lui intelectuală, aşa cum se întâmplă şi aici. Cercetările lui Gauss în teoria numerelor sunt notate în lucrarea *Disquisitiones Arithmeticae (Cercetări în aritmetică)*, al cărei rezultat glorios, „legea reciprocităţii pătratice“, i-a luat lui Gauss mulţi ani de intensă gândire.

În notiţele timpurii ale lui Gauss găsim intrarea EYPHKA! num = Δ + Δ + Δ (Evrika! Număr = triunghiular + triunghiular + triunghiular). Să ne



Luna are tendinţa de a arăta Pământului aceeaşi faţă

SUS Deşi Luna în mod normal arată Pământului aceeaşi faţă, are o uşoară oscilaţie în mişcarea ei, denumită libraţie. Această neregularitate înseamnă că, din când în când, se întoarce puţin cu faţa cealaltă alternativ spre Pământ, dezvăluind o foarte mică parte din ea. În anul 1764, matematicianul francez Joseph Louis Lagrange a explicat de ce.

Un inel de cauciuc poate părea că seamănă mai mult cu o minge decât un şarpe încolăcit – dar din punct de vedere topologic numai şarpele şi mingea sunt echivalente, deoarece şarpele poate fi deformat (teoretic) într-o minge, pe când inelul de cauciuc nu poate fi deformat astfel.

amintim că numerele triunghiulare 1, 3, 6, 10, 15 (suma numerelor de la 1 la n) ş.a.m.d. i-au fascinat pe pitagorici. Gauss a demonstrat că orice număr se poate scrie ca suma a trei numere triunghiulare – de exemplu, 28 = 3 + 10 + 15. O afirmaţie matematică echivalentă este că fiecare număr de forma 8n+3 este suma a trei pătrate impare – o rafinare mai profundă a unui rezultat la fel de profund al lui Lagrange, conform căruia fiecare număr întreg este suma a patru pătrate.

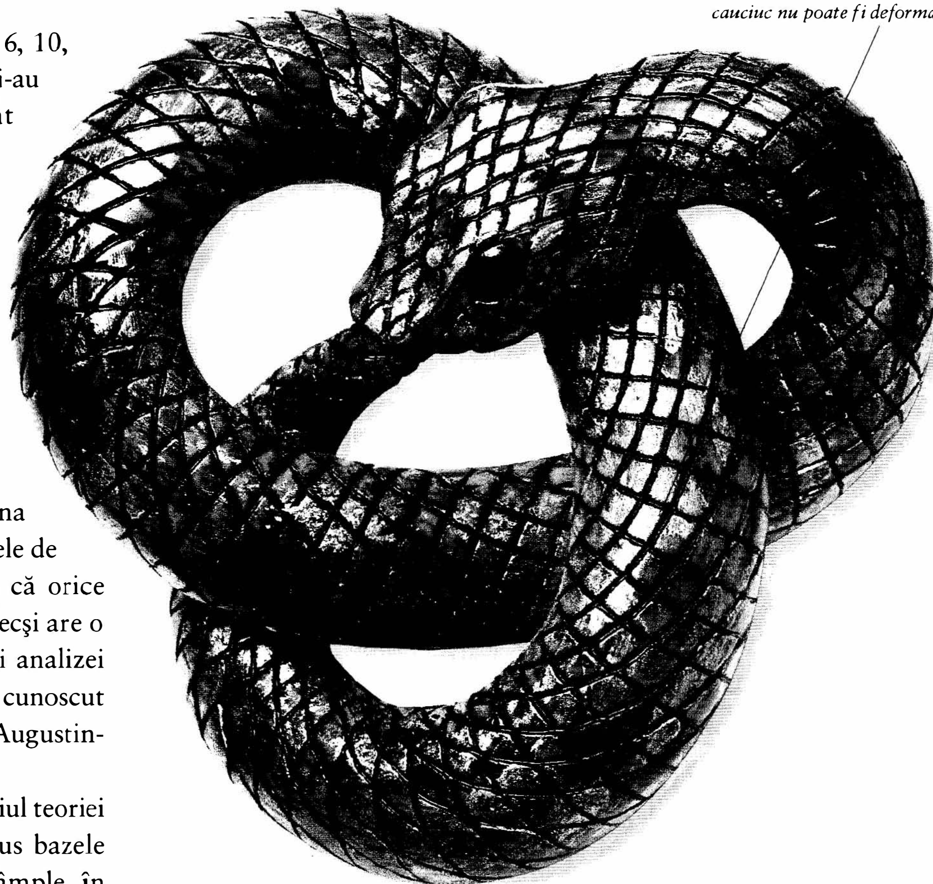
Alt triumf al lui Gauss a fost deplina înţelegere a numerelor complexe: numerele de forma x+iy, unde $i = \sqrt{-1}$. El a arătat că orice ecuaţie polinomială cu coeficienţi complecşi are o soluţie complexă şi a pus bazele teoriei analizei funcţiilor cu valori complexe. Aceasta a cunoscut deplina înflorire odată cu lucrarea lui Augustin-Louis Cauchy, publicată în anul 1825.

Realizările lui Gauss au depăşit domeniul teoriei numerelor. Într-un fel sau altul, el a pus bazele multor lucruri care aveau să se întâmple în matematică. Multe dintre ideile sale cele mai radicale au rămas nepublicate – avea o teamă obsesivă de criticismul public al intelectelor mai slabe. Chiar când şi-a publicat rezultatele, şi-a şlefuit cu grijă ideile până a obţinut din ele o frumoasă esenţă. „Când termini de construit o clădire, schelele nu ar trebui să se mai vadă", spunea el. Dar alţi matematicieni au considerat inutil acest stil auster: Carl-Gustav Jacobi s-a plâns că Gauss era „ca vulpoiul, care îşi ascunde cu coada urmele din nisip".

O STEA A ŞTIINŢEI

La vârsta de 24 de ani, atenţia lui Gauss a fost atrasă de aplicaţiile matematicii în descoperirea unei noi „planete minore" sau a unui asteroid numit Ceres, care umplea spaţiul dintre Marte şi Jupiter într-un model empiric ciudat în distanţele planetare, cunoscut sub numele legea lui Bode.

Să considerăm seria 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, în care la fiecare pas dublăm numărul precedent, apoi adăugăm 4 şi obţinem 4, 7, 10, 16, 28, 52, 100.



SUS Una dintre cele mai surprinzătoare şi rodnice zone de progres matematic timp de peste o sută de ani a fost topologia – studiul suprafeţelor care sunt dilatate sau comprimate fără a-şi pierde proprietăţile, prima dată menţionată într-un document nepublicat despre noduri al lui Gauss. Este uneori cunoscută sub numele de geometria „foii de cauciuc". Noile forme care pot fi create prin răsucire, îndoire sau întindere sunt echivalente topologic; formele care pot fi create numai prin tăiere, rupere sau îndoire nu sunt echivalente.

Considerând raza orbitală a Pământului ca fiind 10, aceste numere – cu excepţia lui 28 – aproximează distanţele de la Soare la fiecare dintre planetele Mercur, Venus, Pământ, Marte, Jupiter şi Saturn. (De fapt, legea lui Bode nu este respectată pentru planetele mai îndepărtate, care nu erau cunoscute pe vremea lui Gauss, fiind o aproximare în cel mai bun caz. Nici acum nu are baze fizice prea solide, deşi unele teorii ale formării planetelor duc la distribuţii similare ale distanţelor.)

Şi atunci, ce corp ceresc se află la distanţa 28 în schema lui Bode? Răspunsul este reprezentat de centura de asteroizi şi de mica planetă Ceres, descoperite în prima zi a secolului XIX de către Giuseppe Piazzi. Această curiozitate l-a transformat pe Gauss într-un superstar al ştiinţei, deoarece Ceres a dispărut în spatele luminii Soarelui la scurt timp după descoperire şi era în pericol să fie „pierdută" pentru astronomie. Gauss şi-a asumat provocarea dificilă de a prezice reapariţia ei, din date observate inadecvate. Pentru a face asta, el a introdus o întreagă nouă serie de noi metode computaţionale

în mecanica cerească, printre care și „metoda celor mai mici pătrate“ pentru a aproxima prin segmente de dreaptă datele neregulate.

Inspirat de succesul său, Gauss și-a petrecut următorii 20 de ani calculând orbite: orbitele cometelor și ale lui Pallas, Vesta și Juno – surorile cosmice ale lui Ceres. Unii istorici ai matematicii consideră că acest lucru a reprezentat o tragedie pentru matematică, dar chiar și cele mai mari minți ale lumii simt nevoia să caute noi terenuri de vânătoare intelectuală.

Gauss a făcut incursiuni și în geodezie, bazându-se pe înțelegerea sa extensivă a geometriei suprafețelor. A investigat electricitatea și magnetismul, făcând câțiva pași importanți pe alea care avea să ducă, prin Michael Faraday, la James Clerk Maxwell și la o teorie matematică completă a electromagnetismului. Împreună cu Wilhelm Weber, Gauss a invent primul telegraf practic. Iar în manuscrisele nepublicate ale lui Gauss, există încercări de pași către o teorie a nodurilor și a suprafețelor, care ulterior a înflorit în centrul matematicii secolului XX: topologia, matematica proprietăților suprafețelor care nu se schimbă prin distorsiune.

JOS **Karl Friedrich Gauss (1777–1855) a fost probabil cel mai mare matematician, care a făcut descoperiri importante în aproape toate domeniile matematicii, de la teoria numerelor la orbitele asteroizilor.**



RAFINATE, DAR INUTILE?

Așa-numitele numere „imaginare“ – rădăcinile pătrate ale numerelor negative – au fost menționate prima dată în lucrarea *Ars Magna (Marea artă)* din anul 1545 a lui Cardano, în care erau marginalizate, ca fiind „rafinate, dar inutile“. Curând după aceea, Raffael Bombelli a descoperit că lucrul cu numerele imaginare făcea lumină în niște probleme complicate ce țineau de rezolvarea ecuației cubice, transformând niște formule fără sens aparent în adevărate soluții. Ulterior, matematicieni ca Descartes și Newton au văzut apariția numerelor imaginare ca dovada faptului că o problemă nu putea fi rezolvată – și astfel au arătat că nu prea au luat în serios ideile lui Bombelli. Pe vremea lui Euler, numerele imaginare au devenit o parte bine închegată a tehnicii matematice, dar înțelesul lor rămânea misterios.

Euler a introdus simbolul $i = \sqrt{-1}$ și a manevrat foarte frumos numerele „complexe“ (această denumire înseamnă doar că numerele au două părți, nu faptul că numerele ar fi complicate). Prin anul 1702, existau deja rudimentele calculului complex, iar Johann Bernoulli a calculat integrale folosind logaritmii numerelor complexe. Nimeni nu putea defini precis numerele complexe, dar deocamdată, matematicienii puseseră deoparte această problemă supărătoare, pentru a stabili modul în care numerele complexe puteau rezolva probleme importante din analiza matematică și din matematicile aplicate.

În anul 1811, Gauss a demonstrat o proprietate-cheie a integralelor complexe – faptul că integralele unei funcții complexe de-a lungul a două căi având puncte comune din planul complex sunt egale în afara cazului în care regiunea delimitată de curbe conține o singularitate, în care funcția nu poate fi definită sau este definită, dar nu nu este diferențiabilă. Acest rezultat este cunoscut ca teorema lui Cauchy, deoarece Augustin-Louis Cauchy a fost primul care l-a publicat, în anul 1825. Cauchy a pornit de la acest rezultat pentru a dezvolta o uimitor de folositoare teorie a analizei complexe. Matematicienii au primit cu brațele deschise ideile lui Cauchy, iar întrebarea ciudată „Ce sunt numerele complexe?“ a fost ignorată în continuare.

Cauchy a sărit peste dificultatea conceptelor de limită și convergență pentru seriile infinite. În anul 1843, Pierre-Alphonse Laurent a introdus seriile Laurent, extindere a funcțiilor complexe, implicând atât puteri pozitive cât și negative ale variabilei. Abordarea lui Laurent a fost preluată de Karl Weierstrass, care și-a bazat întreaga muncă asupra analizei complexe pe seriile Laurent. Numai după epoca lui Weierstrass a devenit analiza cu adevărat riguroasă: definițiile sale epsilon-delta încă formează bazele manualelor de liceu de analiză matematică, uimind elevii la fel de mult precum i-au uimit la început pe contemporanii lui Weierstrass.

Începând de la mijlocul secolului XIX, progresul analizei complexe a fost rapid și extins. Numerele complexe, cândva defăimate ca fiind inutile, și-au găsit un loc durabil în curentul matematicii, cu aplicații fundamentale în aerodinamică, mecanica fluidelor, inginerie electrică și electronică. Ele s-au dovedit indispensabile și în mecanica undelor și în teoria cuantelor. Deloc inutile...



ÉVARISTE GALOIS
1811–1832
Ideile lui Galois, descoperite după moartea sa prematură, au devenit baza a ceea ce numim acum teoria grupurilor – un concept fundamental în matematica modernă.

COCHETA INFAMĂ

Una dintre cele mai mari probleme clasice, trecând ca un fir roşu prin secole de descoperiri matematice, este rezolvarea ecuaţiei cvintice (de gradul cinci). Am văzut deja cum matematicienii Renaşterii Italiene au descoperit rezolvarea ecuaţiei cubice şi a ecuaţiei de gradul patru. Rezolvarea ecuaţiei de gradul patru nu era un secret pentru babilonienii antici, prin 1600 î.Hr. În fiecare caz, soluţiile sunt exprimate în funcţie de radicali – formule algebrice ce conţin coeficienţii şi nimic mai complicat decât rădăcinile de ordinul n ale lor, pentru diverse valori ale lui n. Dar ecuaţia de gradul cinci putea fi rezolvată prin radicali? Nimeni nu ştia.

Euler a încercat şi nu a reuşit, dar a găsit o nouă metodă pentru rezolvarea ecuaţiei de gradul patru. Lagrange a unificat toate metodele folosite de predecesorii săi, legându-le de permutările rădăcinilor ecuaţiei – obţinute prin schimbarea ordinii lor de scriere. Fiind date rădăcinile x, y, z, să zicem, există şase permutări ale lor: xyz, xzy, yxz, yzx, zxy şi zyx. Lagrange a demonstrat că această metodă unificată nu se aplică la ecuaţia de gradul cinci. De atunci a plutit în aer ideea că radicalii nu sunt suficienţi pentru rezolvarea ecuaţiei de gradul cinci, iar prima încercare de a demonstra acest lucru a fost făcută în anul 1813 de către Paolo Ruffini. Demonstraţia sa a fost publicată într-un jurnal obscur, dar oricum avea scăpări; prima demonstraţie corectă a fost dată de Neils Hendrik Abel în anul 1824.



JOS **Legenda spune că Galois a fost ucis la numai 20 de ani într-un duel pentru o femeie, care a rămas cunoscută ca şi „cocheta infamă". Totuşi, pare mai probabil că duelul a fost purtat cu un oponent politic, înfuriat de tiradele sale împotriva regelui francez Charles al X-lea.**

În anul 1832, un tânăr francez, Évariste Galois, a fost ucis într-un duel, se pare din cauza unei femei („o cochetă infamă", a scris Galois la momentul respectiv, dar se pare că era vorba despre Stéphanie du Motel, fiica absolut respectabilă a unui medic care locuia pe aceeaşi stradă ca şi Galois). Galois avea un temperament iute şi un dispreţ instantaneu faţă de orice persoană pe care ar fi considerat-o inferioară intelectual. De ceva timp, încerca să obţină aprobarea oficială a teoriilor sale matematice, dar personalitatea lui nu-i îmbunătăţea şansele. Abia în anul 1843, Joseph Liouville a înţeles ce avea în minte Galois, când a anunţat unele dintre descoperirile duelistului mort confraţilor săi.

Galois preluase ideile lui Lagrange despre permutări, descoperind că erau cheia stabilirii dacă o ecuaţie putea fi rezolvată prin radicali. Secretul era „grupul lui Galois" al ecuaţiei respective: aceste permutări ale rădăcinilor sale lasă neschimbate relaţiile algebrice dintre ele. În termeni moderni, grupul lui Galois este mulţimea tuturor simetriilor algebrice ale ecuaţiei. Galois a demonstrat insolubilitatea ecuaţiei de gradul cinci prin radicali.

Grupul lui Galois a marcat un punct de cotitură în algebră. Înainte de Galois, algebra era un sistem simbolic de stabilire a unor adevăruri generale despre numere. După Galois, a devenit un sistem simbolic de stabilire a unor adevăruri generale despre orice. Materia brută pot fi numerele – dar pot fi permutările, grupurile de permutări, sau alte entităţi mai abstracte. Tot ce conta era să fie stabilit un simbolism consistent.

Din acest punct de vedere, poate cel mai important concept algebric abstract care a apărut a fost conceptul de grup. Acesta este o colecţie de obiecte matematice care pot fi combinate în perechi pentru a crea un nou obiect, care face parte tot din colecţie – supusă numai unor reguli algebrice simple, cea mai importantă fiind legea asociativă: $x(yz) = (xy)z$. Matematica de azi se bazează foarte mult pe grupuri, în parte pentru că teoria grupurilor oferă o metodă sistematică de a explora şi a exploata simetriile obiectelor şi ale proceselor matematice. Simetria are implicaţii profunde în matematică, o mare parte a acestui domeniu bazându-se pe ea.

INTUIŢIE ŞI IPOTEZE

Unii matematicieni sunt prolifici; Euler este exemplul extrem. Alţii au un impact la fel de mare creând o mică lucrare, imposibil de depăşit ca profunzime intelectuală şi intuiţie. Un astfel de matematician a fost Georg Bernhard Riemann (1826-1866). Pentru a accede la poziţia de *Privatdozent* în Germania secolului XIX – mai simplu spus, un lector care poate taxa elevii pentru serviciile sale, primul pas serios pe scara carierei academice – candidatul trebuie să propună o listă de subiecte despre care va vorbi. Gauss, examinatorul lui, l-a ales pe cel mai dificil: fundamentele geometriei.

Riemann a răspuns prezentând variatele tipuri de geometrie neeuclidiană cunoscute până atunci şi considerându-le cazuri speciale ale unui tip mai general de geometrie, geometria geodezicelor în spaţii curbe. O geodezică este calea cea mai scurtă între două puncte. În plan, geodezicele sunt liniile drepte. În geometria sferică, sunt cercurile mari ale sferei. În tipurile de geometrie neeuclidiană cunoscute pe vremea lui Riemann, ele sunt analoagele neeuclidiene ale liniilor drepte. Dar în toate cazurile, spaţiul în care existau acele linii sau curbe avea o geometrie simplă, uniformă.

Dar nu şi pentru Riemann. Pentru el, spaţiul putea fi orice. Chiar şi dimensiunile sale puteau fi oricâte: nu numai cele două sau trei dimensiuni clasice, ci patru, cinci, un milion, oricâte. Iar proprietăţile geometrice ale spaţiului puteau varia din loc în loc. Era necesar numai un spaţiu topologic (un sistem generalizat de coordonate) şi o metrică (o noţiune de distanţă care se aplica, în primă instanţă, numai punctelor învecinate). Din metrică, se pot construi geodezice scurte; apoi alăturându-le pe acestea pe distanţe mai lungi pot fi configurate noţiuni pe scară largă de distanţă şi geometrie. Cel mai important, se poate calcula cu ajutorul metricii măsura în care spaţiul este curbat şi dacă are curbura pozitivă (ca în cazul unui castron) sau negativă (ca şaua unui cal).

Se ştia că Gauss este fascinat de curbură şi intrigat de geometria neeuclidiană, deci este uşor de conchis că Riemann a fost un bun politician al afilierii academice şi un matematician desăvârşit. În orice caz, şi-a făcut reputaţie. Azi, geometria lui Riemann se află în esenţa teoriei lui Einstein asupra relativităţii generale.

Cealaltă mare contribuţie a lui Riemann a fost în teoria numerelor. El a descoperit conexiuni profunde între teoria numerelor prime şi funcţiile complexe. Într-un anumit sens, ideea este că o funcţie complexă poate „codifica" proprietăţile unui întreg şir de numere. Când acesta este şirul numerelor prime, funcţia rezultată – pe care Riemann a notat-o cu litera grecească „zeta" şi de aceea se numeşte funcţia zeta – se dovedeşte a fi extrem de interesantă din punctul de vedere al analizei complexe.

Tipul de teoremă care poate fi demonstrată folosind intuiţiile lui Riemann privind conexiunea dintre numerele întregi şi analiza complexă este exemplificat prin teorema numerelor prime: numărul de numere prime mai mici decât un număr dat x tinde asimptotic la x/log x. (Asimptotic înseamnă că sunt aproximativ egale, iar aproximaţia este cu atât mai bună cu cât x este mai mare.) Astfel, Riemann a creat o ramură complet nouă a matematicii, numită teoria analitică a numerelor. Această teorie nu are nicio aplicaţie, ci este un demers pur intelectual.

Şi el a lăsat nerezolvată probabil cea mai mare problemă deschisă din matematică: ipoteza lui Riemann. Aceasta are legătură cu poziţia zerourilor funţiei zeta a lui Riemann: în afara câtorva excepţii triviale, toate zerourile se află pe o dreaptă din planul complex. Toate dovezile arată că ipoteza lui Riemann este adevărată – iar noi tehnici valide precum predicţia erorii în rata probabilă a erorii, au fost motivate numai presupunând că este adevărată, apoi a stabili unde duce presupunerea – dar demonstraţia rămâne ascunsă. De fapt, nimeni nu ştie de unde să înceapă o demonstraţie.



GEORG BERNHARD RIEMANN
1826–1866
Matematicianul german Riemann a publicat puţine lucrări în timpul vieţii, dar acestea erau „perfect şlefuite", deschizând calea unei forme de geometrie absolut noi, referitoare la suprafeţele curbe.

DIMENSIUNILE INFINITULUI

Georg Cantor (1845–1918) a fost o imensă surpriză în breasla matematicienilor. A fost cel care a făcut primul pas în susţinerea creşterii nivelului de abstractizare în matematică, o tendinţă care prin anii 1960 a făcut mulţi observatori să creadă că avea în vedere o despărţire de orice avea valoare practică. În mod paradoxal, nimic nu era mai neadevărat. Abstractizarea este modul matematicianului de a păstra sub control subiectul studiului său, deoarece abstractizarea merge mână în mână cu generalitatea. Când aceeaşi idee de bază apare în 17 zone diferite ale matematicii, este necesar ori să fie descris fiecare caz în detaliu, ori ca întregul set să fie subsumat în ceva mai concis – dar acest pas înainte a îndepărtat de realitate fiecare dintre cele 17 instanţe.

Este matematica ceva descoperit sau ceva inventat? Probabil, nici una nici alta, deoarece matematica este un subiect virtual, materialul din care sunt alcătuite ideile. Totuşi, putem face o distincţie utilă între matematica ce explorează noile aspecte ale tradiţiilor existente (deci descoperă) şi cea care creează puncte de pornire radical noi (deci inventează). Într-un anumit sens, descoperirile plutesc în jur, undeva în spaţiul conceptual, aşteptând să fie găsite, în timp ce invenţiile extind întregul spaţiu al ideilor către noi dimensiuni. Descoperirile vor fi făcute până la urmă de cineva; invenţiile, dacă nu sunt făcute, pot muri odată cu potenţialul lor inventator. În acest sens, Cantor a fost un inventator, iar invenţia sa a fost teoria mulţimilor.

În mod ironic, extinderea făcută de Cantor în spaţiul conceptual în care înfloreşte matematica a apărut dintr-o investigaţie absolut convenţională asupra unei dificultăţi bine înrădăcinate în analiza matematică. De o jumătate de secol, teoria lui Fourier a seriilor trigonometrice provocase o criză tot mai mare, în care diferite teoreme, aparent demonstrate cu toată rigoarea necesară, se contraziceau reciproc. Criza a fost rezolvată până la urmă ridicând considerabil standardul rigorii logice, iar Cantor a fost iniţiatorul acestei dezvoltări. Acesta rămâne unul dintre cele mai bune motive de a nu renunţa la cerinţa demonstraţiilor riguroase în matematică, deşi nenumăraţi oameni bine intenţionaţi dar neavizaţi continuă să susţină o astfel de abandonare a responsabilităţii, pretinzând că ar face matematica mai uşoară. (O face mai uşoară la fel cum renunţarea la examenul pentru permisul auto vă ajută să învăţaţi mai uşor să conduceţi maşina.)

Studiile lui Cantor asupra seriilor Fourier l-au făcut să se concentreze asupra mulţimilor – sau colecţiilor – de puncte de pe dreapta numerelor reale. Acestea puteau reprezenta mulţimea de puncte pentru care o serie Fourier se comportă cumva greşit: fie nu converge, fie converge spre altă limită, de exemplu. Subtilităţile analizei lui Fourier atingeau proprietăţile generale, abstracte,

MULŢIMI INFINITE

0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
0	**1**	**-1**	**2**	**-2**	**3**
6	**7**	**8**	**9**	**10**	**...**
-3	**4**	**-4**	**5**	**-5**	**...**

SUS **Studiul diferitelor mulţimi, nu numai al mulţimilor de numere, l-a ajutat pe Georg Cantor să înţeleagă că există mai multe dimensiuni diferite ale infinitului. Cea mai familiară mulţime infinită este cea a numerelor naturale obişnuite, numerele pe care le folosim zi de zi. Aceste numere pot fi asociate cu numerele negative pentru a crea o mulţime infinită de două ori mai mare.**



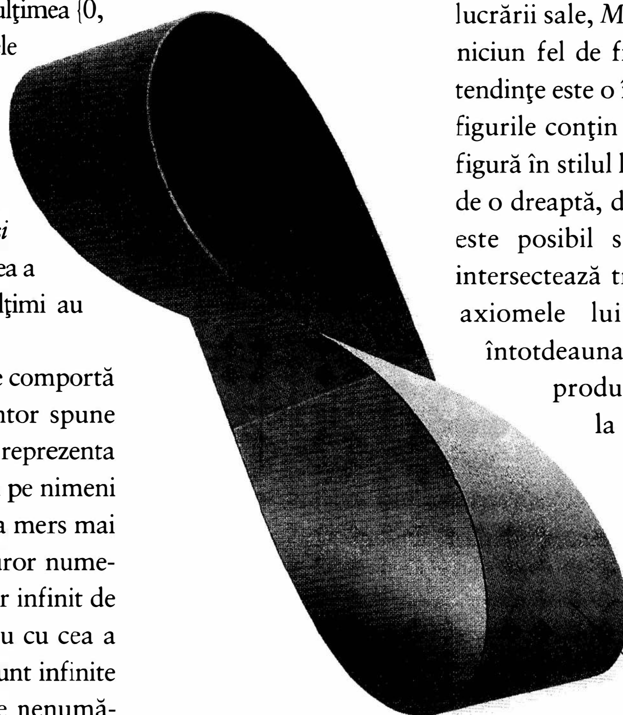
SUS **Oare progresele matematice sunt undeva acolo, aşteptând să fie descoperite, sau sunt inventate din nimic? Acesta este un subiect de dezbatere filosofică, dar unul dintre marile progrese ale anilor 1960, teoria mulţimilor dezvoltată de către Georg Cantor, a apărut aproape din nimic.**

de unor asemenea mulţimi – ceea ce reprezenta alt pas către topologie, dar şi izvorul unei revoluţii. Ceea ce conta cu adevărat părea să fie proprietăţile abstracte ale mulţimilor de orice fel, nu doar ale mulţimilor de numere. Iar asta l-a condus pe Cantor la o idee epocală – aceea că există mai multe dimensiuni ale infinitului.

Cea mai evidentă mulţime infinită este mulţimea {0, 1, 2, 3...} a numerelor naturale – numerele folosite de noi zi de zi. (Acoladele { } sunt folosite în teoria mulţimilor pentru a delimita lista elementelor mulţimii.) Cantor a observat că mulţimi aparent „mai mari", ca mulţimea numerelor întregi (pozitive *şi* negative), puteau fi asociate unu-la-unu cu cea a numerelor naturale: adică, cele două mulţimi au acelaşi cardinal.

Până aici, toate bune: ştim că infinitul se comportă ciudat şi, într-un fel, observaţia lui Cantor spune doar că $\infty + \infty = \infty$, folosind „∞" pentru a reprezenta infinitul – o relaţie care nu prea mai miră pe nimeni în cercurile matematice. Totuşi, Cantor a mers mai departe pentru a arăta că mulţimea tuturor numerelor reale, a tuturor numerelor cu număr infinit de zecimale, *nu poate fi asociată* unu-la-unu cu cea a numerelor naturale. Numerele naturale sunt infinite numărabile, numerele reale sunt infinite nenumărabile: un infinit de dimensiune mai mare. Mai mult decât atât: fiind dată orice mulţime infinită, există alta „mai mare", cu care nu poate fi asociată unu-la-unu. Gama mulţimilor infinite diferite este ea însăşi infinită.

JOS **Banda lui Möbius este construită răsucind o bandă de hârtie cu 180° şi lipindu-i capetele, transformând astfel un obiect de hârtie cu două feţe într-o formă ce are numai o suprafaţă continuă.**



Se poate desena o linie în mijlocul ambelor părţi ale benzii fără ridicarea creionului de pe hârtie.

GEMETRIZAREA MATEMATICII

Matematica reală, împreună cu o structură logică şi noţiunea de demonstraţie, a început cu geometria greacă. Pe parcursul secolelor, totuşi, aspectele vizuale ale geometriei au fost lăsate la o parte în favoarea raţionamentului simbolic – până acolo încât Lagrange s-a lăudat în introducerea lucrării sale, *Mécanique Analytique*, că nu conţine niciun fel de figuri. Unul dintre motivele acestei tendinţe este o înţelegere tot mai mare a faptului că figurile conţin adesea presupuneri neenunţate. O figură în stilul lui Euclid a unui triunghi intersectat de o dreaptă, de exemplu, implică întrebarea dacă este posibil să demonstrăm că dreapta chiar intersectează triunghiul. De fapt, folosind numai axiomele lui Euclid, acest lucru nu este întotdeauna posibil. În anii 1850, totuşi, s-au produs anumite evenimente care au dus la un nou accent pus asupra vizualului, luând simultan în considerare faptul că figurile pot conţine capcane ascunse.

STICLE ŞI BENZI

La începutul anilor 1900, topologii aveau o înţelegere deplină a suprafeţelor bidimensionale – cel puţin a suprafeţelor fără margini care erau „închise", în sensul că nu se extindeau la infinit. Asemenea suprafeţe se împart în două categorii: cele orientabile, care sunt sfere având un număr de mânere, şi cele neorientabile, precum sticla lui Klein sau torul, care este răsucită astfel încât suprafaţa sa interioară se contopeşte lin cu cea exterioară. Cea mai bine cunoscută suprafaţă neorientabilă este banda lui Möbius, denumită după Augustus Möbius (1790-1868), care are o singură faţă.

Sticla lui Klein nu are feţe şi este imposibil să fie construită în realitate. Totuşi, acesta nu este un obstacol pentru topologie, care lucrează teoretic. El poate fie să lucreze cu sticla lui Klein ca obiect intrinsec, neinclus într-o suprafaţă înconjurătoare, fie o poate include (fără auto-intersectare) în spaţiul cu patru dimensiuni. Prin această formulare ciudată, matematicienii înţeleg ceva absolut prozaic: mulţimea cvadruplilor de numere reale (x, y, z, w). Spaţiile de dimensiuni 5, 6 şi aşa mai departe sunt definite în acelaşi mod. Ele au propria geometrie, definită prin analogii algebrice cu spaţiile bidimensional şi tridimensional.



WILLIAM ROWAN HAMILTON
1805-1865
Hamilton a fost un strălucit matematician irlandez ale cărui cercetări în algebră formează baza mecanicii cuantice de azi.

În mod ironic, primii paşi făcuţi în această direcţie vin din dezvoltarea punctului de vedere analitic al lui Lagrange asupra mecanicii, de către William Rowan Hamilton (1805-1865). Hamilton a fost un copil precoce care, la vârsta de zece ani, putea înţelege 15 limbi străine. În anul 1827 a fost ales profesor de astronomie la Trinity College, Dublin. A început prin a face în optică – matematica razelor de lumină – ceea ce Joseph Louis Lagrange a reuşit să facă în mecanică. Apoi şi-a dat seama că ambele zone ale fizicii aveau o legătură profundă la nivel matematic – acelaşi formalism abstract, dar interpretat în mod diferit.

Din această unificare a reieşit un punct de vedere care a devenit de atunci fundamental pentru o mare parte din fizica matematică. Se concentrează pe o cantitate numită acum hamiltonian şi construieşte ecuaţii dinamice sau optice din această cantitate în mod sistematic. Optica are un evident aspect geometric: geometria razelor de lumină; transferând această structură mecanicii, mişcarea corpurilor dobândeşte semnificaţie geometrică. Hamilton s-a gândit probabil că introduce algebra în optică, dar consecinţa pe termen lung a muncii sale a fost transferul geometriei în mecanică. Acest lucru se numeşte în zilele noastre „geometrie simplectică", denumire introdusă de către Hermann Weyl prin anul 1910, *simplectic* fiind cuvântul grecesc pentru complex.

JOS **Intuiţia strălucitoare a lui Hamilton a fost să lege mecanica de geometrie construind ecuaţii pentru traiectoria razelor de lumină. Cercetând modelele produse de lumina reflectată, a ajuns la descoperirea fundamentală a legii minimei acţiuni, care arată că lumina se deplasează în linie dreaptă, ceea ce implică minimă acţiune.**



Legătura dintre geometrie şi esenţa matematicii a fost subliniată de către Felix Klein (1849-1925). Klein a studiat tipurile disparate de geometrie care existau în vremea lui – euclidiană, neeuclidiană, proiectivă, inversivă etc. – şi a arătat că, în esenţă, au o structură comună. În centrul geometriei nu stau formele, ci transformările: modurile de a deplasa formele. Pentru Euclid cheia nu erau triunghiurile, ci mişcările triunghiurilor: mişcările rigide care păstrează forma şi dimensiunile triunghiului. Geometria, spunea Klein, se referă la sistemele de transformări – grupuri în sensul lui Galois – iar ceea ce este semnificativ într-o formă geometrică este ceea ce rămâne invariant, neschimbat de un grup relevant de transformări. Numai geometria lui Georg Bernhard Riemann a suprafeţelor curbe nu s-a încadrat în schema ingenioasă a lui Klein.

Klein a continuat pentru a reduce la geometrie, în acelaşi mod, părţi mari ale matematicii vremii sale – precum analiza complexă – şi chiar rezolvarea prin metode analitice a ecuaţiei de gradul cinci. Munca sa a fost continuată de către norvegianul Sophus Lie (1842-1899), iar teoria grupurilor a devenit baza comună pentru aproape toate curentele principale din matematică.

Lista de obiective a lui Hilbert

Geometria a jucat un rol central şi în munca unuia dintre cei mai mari matematicieni de la sfârşitul secolului XIX, matematicianul şi fizicianul german David Hilbert (1862-1943). Hilbert a fost succesorul lui Klein la Universitatea din Göttingen, iar munca sa de o viaţă se împarte în două faze distincte. În prima fază a preluat problema invarianţilor dintr-un punct de vedere algebric, a lăsat problema deschisă şi a abandonat domeniul. Apoi a abordat teoria numerelor, făcând paşi la fel de dramatici. De acolo, a trecut la geometrie, aparent uitând complet de ideile sale din teoria numerelor, şi a dat primul sistem de axiome logic independente pentru geometria lui Euclid. În final, a trecut la fizica matematică, creând nişte tehnici (spaţiul Hilbert) care nu peste mult timp aveau să stea la baza teoriei cuantelor.

În anul 1900, Hilbert a încercat să sumarizeze matematica secolului XIX şi să indice o cale către matematica secolului XX, într-o faimoasă adresă către Congresul Internaţional al Matematicienilor. În ea a prezentat 23 de mari probleme a căror soluţionare, susţinea el, urma să aibă un efect major pentru progresul matematicii. Începând de atunci, cea mai eficientă cale a matematicienilor

de a-și face reputație era să rafineze una dintre problemele lui Hilbert. Cele mai multe au fost rezolvate de atunci, cu câteva excepții interesante, printre care și ipoteza lui Riemann. Întreaga dezvoltare a matematicii din secolul XX a fost puternic influențată de privirea de cristal a lui Hilbert asupra domeniului.

Pe de altă parte, Hilbert nu a reușit să anticipeze multe dintre noile teorii care aveau să apară după anul 1900. Cel puțin două dintre aceste teorii au căpătat viață datorită unei simgure persoane, francezul Henri Poincaré (1854-1912). Acestea sunt topologia și teoria calitativă a sistemelor dinamice. Ultima este adesea denumită geometria foii de cauciuc sau studiul proprietăților formelor care rămân neschimbate prin deformări continue: proprietăți precum conectivitatea, existența nodurilor și prezența sau absența găurilor. Ultima teorie a dus la recunoașterea haosului în dinamică și în teoria modernă a sistemelor neliniare, care revoluționează întreaga lume a științei teoretice și aplicate.



SUS **În încercarea de a rezolva problema clasică de a determina dacă Sistemul Solar este stabil, Poincaré a descoperit teoria haosului.**

În topologie, Poincaré a dezvoltat multe instrumente care sunt și acum fundamentale, mai ales folosirea algebrei abstracte pentru a caracteriza nodurile, găurile și alte concepte topologice de bază. Era un matematician de mare intuiție, iar demonstrațiile sale erau adesea – ca să fim cinstiți – neglijente. Totuși, intuiția lui era atât de bună, încât neglijența sa ducea de obicei la rezultate creative. Poincaré a intuit răspunsurile și conceptele-cheie; demonstrațiile riguroase puteau fi lăsate în seama celorlalți, mai puțin înzestrați. Una dintre marile probleme nerezolvate din topologia modernă, conjectura lui Poincaré, a apărut dintr-o eroare pe care el a făcut-o. Conjectura afirmă că orice spațiu topologic care are anumite proprietăți în comun cu suprafața tridimensională analogă a unei sfere este identic cu acea suprafață analogă. Denumirea de conjectură este prea politicoasă: Poincaré a început prin a presupune că este evidentă, apoi și-a dat seama că nu era și a propus-o ca întrebare lumii matematice. În anul 2002, retrasul matematician rus Grigory Perelman a propus o soluție pentru conjectură, care încă nu fusese demonstrată.

Descoperirea haosului a fost și ea cauzată de o greșeală. Poincaré a intrat într-o competiție în anul 1887, condusă de regele Oscar al II-lea al Suediei, pentru a determina dacă Sistemul Solar este stabil – clasica problemă a mai multor corpuri. Poincaré a abordat o versiune simplificată, care era de fapt mișcarea Soarelui, a Pământului și a unui fir de păr atât de mic încât nu are nicio influență asupra celorlalte două corpuri, deși ele îl influențează. Eseul câștigător al lui Poincaré a fost publicat în *Acta Mathematica* în anul 1890, iar în el face observația că, în anumite condiții, orbita particulei de praf poate fi complexă și neintuitivă – sau, cum am spune noi, haotică.

PROBLEME NEREZOLVATE

Există încă o mulțime de întrebări fără răspuns în teoria numerelor. Gândiți-vă la un număr, să zicem 7. Dacă este impar (ca în cazul nostru), înmulțiți-l cu 3 și adunați 1 (veți obține 22). Dacă rezultatul este par (ca în cazul nostru) împărțiți-l la 2 (veți obține 11). Puteți repeta acești pași la oricât de mult. În acest caz obținem șirul de numere 7, 22, 11, 34, 17, 52, 26, 13, 40, 20, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, 4, 2, 1... Obținem întotdeauna ciclul repetitiv 4, 2, 1 indiferent de unde începem? Nimeni nu știe. Se știe că este adevărat pentru toate numerele până la 700 de mii de milioane. În cazul în care credeți că este evident că șirul ajunge mereu la 1 și apoi se repetă, încercați o variație în care pentru numere impare le triplați, apoi scădeți 1. Vedeți ce se întâmplă dacă începeți cu 17 și veți avea o mare surpriză.

Altă faimoasă problemă nerezolvată este conjectura lui Goldbach. Christian Goldbach a fost un matematician amator care a trăit între 1690 și 1764. El i-a pus prietenului său, Leonhard Euler, o întrebare înșelător de simplă: este orice număr par mai mare decât doi suma a două numere prime? Euler nu a putut răspunde, așa cum nimeni altcineva nu a reușit. Răspunsul este probabil „da", dar nu putem fi siguri. Cel mai mult se știe că fiecare număr par de la un moment dat încolo este fie suma a două numere prime, fie suma dintre un număr prim și un număr care este produsul a două numere prime.

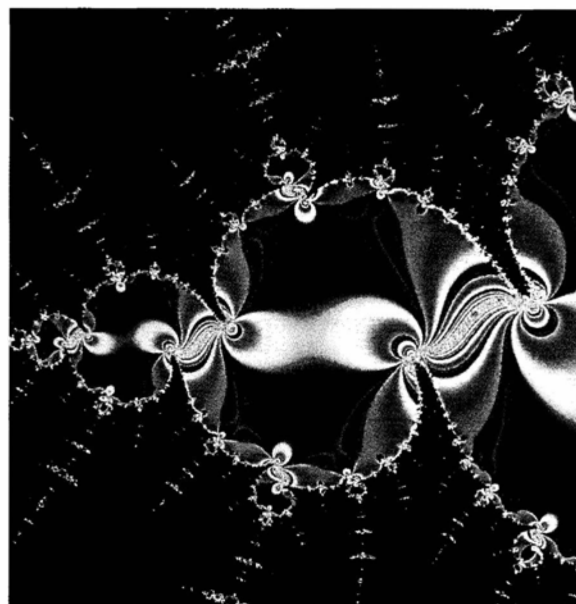
TRIUMFUL ABSTRACTIZĂRII

Cea mai importantă caracteristică a primelor două treimi ale secolului XX a fost tendinţa rapidă şi aparent stabilă către creşterea abstractizării. Structura profundă a matematicii – obiectele ei de studiu – au devenit mult mai complexe. Nu erau numai numerele, sau mulţimile de numere, sau funcţiile între mulţimi, ca în lucrările lui Cantor – ci mulţimile de funcţii şi funcţiile între mulţimi de funcţii. Din ce în ce mai mult, aceste obiecte erau caracterizate axiomatic de o listă de proprietăţi ale lor. Ceea ce *erau* a devenit neimportant: conta ce *făceau*. Această abordare a ajuns la apogeu în anii 1960 odată cu studiile lui Nicolas Bourbaki – pseudonimul unui grup de tineri matematicieni, cei mai mulţi francezi, care au rescris matematica din temelii până la acoperiş în termeni axiomatici şi foarte abstracţi.

Sistemele axiomatice se împart în două tipuri largi: cele care caracterizează obiecte specifice, individuale – cum sunt numerele naturale, reale sau complexe – şi cele care caracterizează o clasă generală de obiecte, ca grup, inel, corp, spaţiu vectorial, spaţiu metric, spaţiu topologic, suprafaţă curbă multidimensională şi aşa mai departe. Primele menţionate servesc la încapsularea esenţei obiectului relevant. Celelalte au o extraordinară calitate: generalitatea. Dar au şi un defect, care este tot generalitatea.

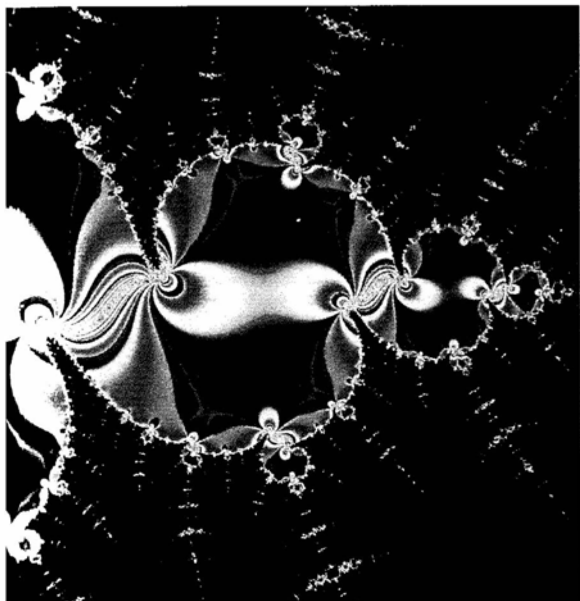
Avantajul unui astfel de sistem de axiome este că orice teoremă care derivă logic din axiome este adevărată pentru toate obiectele care satisfac axiomele. Nu trebuie să fie demonstrată din nou în fiecare caz special. Aceasta reprezintă o substanţială economie conceptuală, obţinută cu preţul unei legături mai puţin directe cu ceva concret. Până în anii 1960, întreaga lume a matematicii se baza în mod obişnuit pe variate sisteme de axiome. Dar ceea ce contează cu adevărat în matematică nu este un punct de vedere sau altul: ci modul în care sunt folosite. Secolul XX a creat o lume de bogăţie matematică, nemaiîntâlnită până atunci. Din nefericire, trebuia să fii specialist în matematică pentru a o putea aprecia.

Printre cele mai importante dintre aceste bogăţii era produsul minţii lui Poincaré, topologia. Pe parcursul secolului XX, topologii au făcut progrese enorme în înţelegerea spaţiilor cu mai multe dimensiuni, mai ales cu peste cinci dimensiuni. Spaţiile cu trei sau patru dimensiuni s-au dovedit a fi mai ascunse – la fel ca şi nodurile, care pot fi considerate matematic drept curbe închise înglobate în spaţiul tridimensional. Dar în anii 1980, neozeelandezul Vaughan Jones, a descoperit o metodă strălucită de a distinge nodurile matematice, polinomul lui Jones. Aplicaţiile sale practice includ secţionarea moleculelor de ADN de către enzime.



DREAPTA **În anii 1960, matematicianul polonez Benoit Mandelbrot a dezvoltat teoria fractalilor – acum modele matematice familiare, ce au ajuns să simbolizeze teoria haosului.**

Abstractizările din anii 1960 au fost dezvoltate până în punctul din care puteau oferi utilizări în multe zone ale ştiinţei. Între timp, cerinţele tot mai diverse ale ştiinţei aplicate şi ale tehnologiei au condus la aplicaţii neaşteptate ale vechilor domenii şi crearea unor domenii matematice complet noi. Un exemplu din prima categorie este folosirea teoriei clasice a numerelor la proiectarea sălilor de concerte cu acustică mai bună, în care plăcile acustice sunt aranjate în modele conforme cu teoria numerelor pentru a optimiza sunetul. Teoria numerelor este folosită şi pentru cartografierea suprafeţei planetei Venus de pe Pământ, deoarece dă semnalului o cantitate enormă de redundanţă; chiar dacă numai un puls dintr-un milion este recepţionat la întoarcerea sa pe Pământ, tot poartă informaţii care pot fi adunate, încet dar sigur, de-a lungul multor luni.



HAOS, FRACTALI ȘI COMPLEXITATE

Albert Einstein a spus că Dumnezeu nu joacă zaruri, că Universul este guvernat de legi precise şi nu de întâmplare. Zona denumită popular teoria haosului aruncă o nouă lumină asupra unor asemenea chestiuni, dezvăluind că – în mod paradoxal – legile precise par să poată genera situaţii aleatoare. În consecinţă, punctul nostru de vedere despre determinism, predictibilitate şi complexitate este încă discutabil.

De ce sunt mareele predictibile, dar nu şi condiţiile meteo? Mareele sunt cauzate de atracţia gravitaţională exercitată de Soare şi Lună; vremea este cauzată de starea în care se află atmosfera încălzită de Soare. Legea gravitaţiei nu este deloc simplă, dar de ce putem prezice mareele cu ani înainte să se producă, dar putem greşi prognoza meteo de poimâine? Răspunsul este că dinamica vremii se schimbă rapid, în timp ce dinamica mareelor se schimbă numai la milioane de ani.

Schimbările haotice duc la impredictibilitate. Stările sistemului se extind continuu şi revin în acelaşi spaţiu limitat – cu amestecuri asemănătoare modului în care se frământă aluatul. Orice sistem de acest fel va părea haotic – aparent aleator într-un sistem determinist. Diferenţa dintre un sistem haotic şi un sistem non-haotic este simplă. În sistemele non-haotice, erorile faţă de stările iniţiale nu cresc rapid. În sistemele haotice, da. Într-un sistem haotic, la un orizont de predicţie din viitor, eroarea devine mai mare decât predicţia reală, iar din acel moment încolo predicţia originală nu mai are nicio relaţie utilă cu comportarea actuală.

Deşi haosul este imprevizibil, are şi elemente puternice de stabilitate, aşa cum se poate constata folosind ideea lui Poincaré de reprezentare geometrică a dinamicii. Mulţimea stărilor formează spaţiul de faze al sistemului. Pe măsură ce trece timpul şi un punct iniţial îşi schimbă starea, acel punct se deplasează prin spaţiul de faze, descriind o curbă (în cazul timpului continuu) sau un şir de puncte (în cazul timpului discret), care se numeşte orbită. Multe sisteme au un punct de atracţie (un punct fix): un obiect geometric în spaţiul fazelor care pare să atragă orbitele tuturor punctelor din vecinătate. O stare stabilă este un punct de atracţie; punctul de atracţie corespunzător unei orbite periodice este o buclă închisă sau un ciclu. Punctele de atracţie haotice sunt de obicei fractali – forme geometrice cu structuri fine pe toate scalele. Conceptul de fractal a fost dezvoltat ca teorie sistematică de către matematicianul polonez Benoit Mandelbrot, începând din anii 1960.



SUS **Teoria haosului explică de ce este posibil să anticipăm fluxul şi refluxul oceanelor, cauzate de rotirea Lunii în jurul Pământului – dar nu şi condiţiile meteo peste mai mult de două zile.**

CONTRIBUŢIA LUI BOOLE

George Boole (1815-1864) a fost un matematician englez care a devenit profesor la Queen's College, Cork. Boole şi-a propus să stabilească un formalism algebric pentru logică înlocuind propoziţiile logice cu mulţimi – colecţii de obiecte matematice. Propoziţiei „n este un număr prim“ îi corespunde mulţimea elementelor n care fac adevărată propoziţia – adică mulţimea numerelor prime. Deci propoziţiile logice pot fi înlocuite prin propoziţii despre mulţimi. Relaţiile dintre propoziţii se traduc în relaţii între mulţimi. Dacă P şi Q sunt propoziţii care corespund mulţimilor p şi q, atunci propoziţia logică „P implică Q“ este echivalentă cu „p este submulţime a lui q“ – adică fiecare element al mulţimii p este element al lui q. Boole notează mulţimea vidă (fără elemente) prin 0 şi mulţimea universală (care conţine tot) prin 1. Intersecţia celor două mulţimi x şi y (mulţimea tuturor elementelor lor comune) este notată xy, reuniunea (mulţimea obţinută punând la un loc toate elementele) este notată $x + y$ etc. Boole a enunţat legile algebrice pentru aceste operaţii: există şi surprize, ca $x + yz = (x+y)(x+z)$, ceea ce nu este valabil în algebra obişnuită. Ideea sa este numită acum algebră booleană, iar cea mai importantă aplicaţie a algebrei booleene este reprezentată de bazele logice ale computerelor electronice.



ANDREW WILES

Andrew Wiles este matematicianul englez care a rezolvat în cele din urmă problema care l-a derutat pe matematicieni timp de peste trei secole – demonstrarea marii teoreme a lui Fermat. Prima sa soluţie, prezentată în anul 1993, s-a dovedit a fi falsă, dar după un an a găsit o soluţie subtilă şi sofisticată care este acum larg acceptată.

Există multe aplicaţii ale haosului. Haosul cauzat de câmpul gravitaţional al lui Jupiter poate smulge asteroizii de pe orbitele lor, spre Pământ. Epidemiile, invaziile lăcustelor şi bătăile neregulate ale inimii sunt exemple mult mai concrete de haos. Haosul în schimb este una dintre marile idei generatoare de progres ale cercetării matematice curente. O caracteristică importantă a haosului este faptul că generează comportamente foarte complexe din reguli simple. Ştiinţa încearcă să enunţe legile naturii din observaţiile asupra consecinţelor acestor legi. Haosul demonstrează că observaţiile pot părea complicate, deşi legile care se află în spatele lor sunt simple. Asta ne încurajează să căutăm simplitatea în cadrul datelor aparent complexe. Deci haosul oferă o lecţie importantă pentru întreaga ştiinţă.

Demonstrarea marii teoreme a lui Fermat

Până în anul 1994, una dintre cele mai cunoscute probleme nerezolvate a fost marea teoremă a lui Fermat, datând cam din anul 1650. Să ne amintim că juristul şi strălucitul matematician amator Pierre de Fermat a scris despre ea pe marginea copiei sale din *Aritmetica* lui Diophant. În notaţie modernă, afirmaţia lui Fermat era că ecuaţia $x^n + y^n = z^n$ nu are soluţii întregi nenule x, y, z, începând de la valoarea 3 a lui n. Cu alte cuvinte, are soluţii pentru $n = 2$, dar nu pentru puteri întregi mai mari decât 2.

Fermat a demonstrat că această conjectură este adevărată pentru n = 4, Euler a făcut acelaşi lucru pentru n = 3, iar Peter Lejeune Dirichlet şi Adrien-Marie Legendre ne-au scăpat de cazul n = 5. Ernst Kummer a dezvoltat teoria algebrică a „idealurilor" pentru a extinde gama valorilor pentru care poate fi demonstrată teorema. Până în anul 1990, aceste metode, împreună cu ajutorul dat de computere, le-au permis lui Joe Buhler, Richard Crandall, Tauno Metsänkylä şi Reijo Ernvall să demonstreze marea teoremă a lui Fermat pentru 4000000 de valori ale lui n. Aceasta poate părea o dovadă puternică, dar nu demonstrează că Fermat avea dreptate pentru orice n. Într-adevăr, deoarece infinit de mulţi întregi sunt mai mari decât 4000000, nu este chiar clar că avem o dovadă puternică. Deci un răspuns complet părea la fel de departe ca întotdeauna.

Apoi, în anul 1993, Andrew Wiles a susţinut o serie de trei conferinţe la Isaac Newton Institute din Cambridge – un nou centru internaţional de cercetare în matematică. În timpul conferinţelor, Wiles a dezvăluit că rezolvase o problemă complicată, numită conjectura Taniyama-Weil. Acest lucru a atras atenţia publicului, deoarece toţi ştiau că acea consecinţă a conjecturii Taniyama-Weil era marea teoremă a lui Fermat.

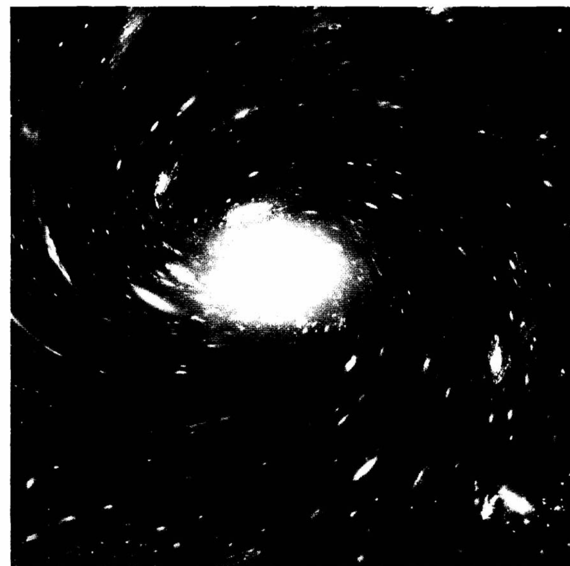
Din nefericire, când Wiles şi-a trimis demonstraţia spre publicare, a fost observată o scăpare gravă în logica ei; dar cu ajutorul unui coleg, Richard Taylor, şi după un an de muncă grea, Wiles a reparat scăparea şi a demonstrat că este adevărată conjectura.

Tot înainte spre noi descoperiri

Matematica este acum în mod cert în epoca ei de aur. Se dezvoltă mai repede decât a făcut-o vreodată: vechile ei mistere sunt rezolvate şi îmbogăţite prin puterea experimentală a computerului şi a instrumentelor conceptuale disponibile, precum software-ul. Împreună cu această intimă apropiere cu tehnologia, mai ales cu tehnologia informaţiilor şi telecomunicaţiile, matematica este înglobată în tot ce ne alcătuieşte viaţa. Iar vieţile marilor matematicieni sunt acum subiectele cărţilor de succes şi ale filmelor de la Hollywood.

Fără matematică, suntem pierduţi.

Iar împreună cu matematica vom ajunge la stele.



DREAPTA **Matematica este instrumentul extraordinar care ne-a permis să ne luptăm cu secretele fundamentale ale Universului. Uimitorul salt conceptual care le permite savanţilor să fie siguri că Universul a început cu un Big Bang ar fi fost imposibil fără matematică.**

PRIVIRE RAPIDĂ ASUPRA MATEMATICII

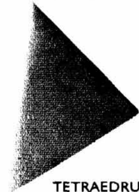


VOLUMUL SFEREI

Babilonienii dezvoltă un sistem de numeraţie.

Thales dezvoltă demonstraţii pentru teoremele sale.

Pitagora descoperă teorema ce-i poartă numele, despre triunghiurile dreptunghice.

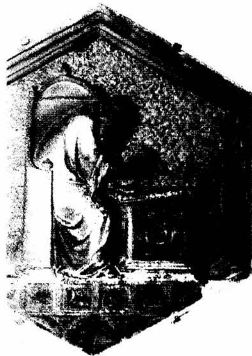


TETRAEDRU

Hinduşii dezvoltă simbolurile numerice Brahmi.

Euclid scrie lucrarea de geometrie *Elementele*, poate cea mai influentă carte din istoria matematicii şi baza întregii geometrii până în secolul XIX.

Arhimede dezvoltă metode de măsurare a volumelor corpurilor solide, cum sunt sferele.



EUCLID

Apollonius analizează secţiunile conului – elipsa, parabola şi hiperbola.

Tsu Ch'ung Chi aproximează π cu nouă zecimale.

În această perioadă sistemul numeric hindus a evoluat în sistemul zecimal de azi.

Al-Khawarizmi scrie primul mare tratat de algebră.

5x-10=0

Leonardo din Pisa introduce numerele indo-arabe în Europa şi inventează numerele lui Fibonacci.

3 4 5

TRIPLETE PITAGORICE

Scipio del Ferro rezolvă toate cele trei tipuri de ecuaţii cubice.

Raffael Bombelli sugerează că numerele negative ar putea fi utile.

René Descartes creează geometria analitică.

Pierre de Fermat enunţă una dintre cele mai durabile probleme ale matematicii – numită ulterior marea teoremă a lui Fermat – şi sugerează că ar avea o demonstraţie remarcabilă, pe care însă nu o dezvăluie.



ISAAC NEWTON

Isaac Newton dezvoltă teoremele binomiale şi descoperă folosirea calculului diferenţial şi integral.

Independent de Newton, Wilhelm Leibniz descoperă şi el calculul diferenţial şi integral.

Leonhard Euler dezvoltă un număr imens de teoreme şi pune baze ferme trigonometriei şi calculului diferenţial.

Joseph-Louis Lagrange îşi începe marea sa carte *Mécanique Analitique*, în care foloseşte calculului diferenţial şi integral în spaţiul cu patru dimensiuni pentru a rezolva probleme de mecanică.



PIERRE DE FERMAT

Karl Gauss scrie cartea *Disquisitiones Arithmeticae*, care pune baza teoriei moderne a numerelor.

William Hamilton leagă geometria şi mecanica prin cercetările sale asupra opticii matematice.



WILLIAM HAMILTON

Évariste Galois foloseşte ideile lui Lagrange despre permutări pentru a crea ceea ce se va numi grupurile lui Galois şi descoperă că algebra poate fi folosită pentru demonstrarea unor adevăruri general valabile.

Georg Riemann introduce ideile de suprafeţe Riemann şi spaţiu multidimensional.

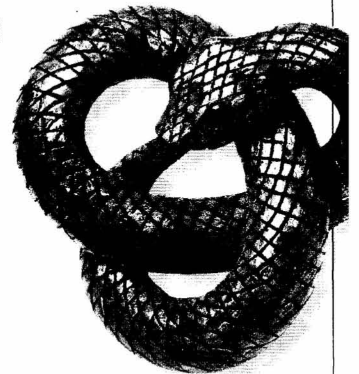
Georg Cantor dezvoltă un sistem aritmetic foarte original pentru a studia infinitul, iar apoi ideile sale despre teoria mulţimilor de puncte devin cruciale în analiza matematică şi în topologie.

Christian Klein descoperă modul de unificare a geometriei euclidiene şi a celei neeuclidiene.

David Hilbert enunţă ideea de spaţiu Hilbert – matematica aflată la baza teoriei cuantelor – şi propune 23 de mari provocări matematice.

Henri Poincaré dezvoltă matematica topologiei şi teoria calitativă a sistemelor dinamice.

Lotfi Zadeh inventează logica fuzzy.



TOPOLOGIE

Benoit Mandelbrot descoperă fractalii.

Andrew Wiles dă demonstraţia marii teoreme a lui Fermat.

Grigory Perelman obţine medalia Field, cea mai înaltă distincţie matematică, acordată pentru cercetările sale asupra conjecturii lui Poincaré.



BANDA LUI MÖBIUS



Energie şi mişcare

FIZICA



Fizica este regina ştiinţelor, piatra de temelie a tuturor ştiinţelor. Se spune – şi este oarecum adevărat – despre chimie că este fizică aplicată, iar despre biologie că este chimie aplicată. Fizica în sine, desigur, este bazată pe matematică; dar asta este altceva. Matematica este bazată pe legi care pot fi demonstrate prin logică şi raţionament – dacă vă place, prin filosofie. Nu efectuaţi experimente în matematică pentru a stabili, să zicem, că unghiurile unui triunghi au suma 180 de grade. O demonstraţi prin logică şi raţionament şi este un adevăr absolut. Dacă măsuraţi unghiurile unui triunghi desenat pe o foaie de hârtie şi obţineţi un total diferit de 180 de grade, greşit este experimentul, nu adevărul matematic. În fizică, totuşi, experimentul este testul ultim; aşa cum a spus cândva Richard Feynman, „dacă experimentul nu confirmă teoria, atunci teoria este greşită". Nicio teorie fizică, oricât ar fi de elegantă şi atrăgătoare, nu poate fi privită ca o bună descriere a modului în care se comportă lucrurile în lumea reală dacă face predicţii care contrazic rezultatele experimentelor.



GALILEO GALILEI
1564–1642
Primul savant al epocii moderne. Galilei a introdus ideea experimentelor riguroase pentru a testa ideile științifice.

Prima persoană care a apreciat pe deplin acest lucru a fost Galileo Galilei, care a trăit între 1564-1642. Nu este niciun dubiu că fizica aşa cum o ştim (de fapt, ştiinţa aşa cum o ştim) s-a născut în secolul XVII. Este greu de stabilit dacă publicarea celei mai mari lucrări a lui Galilei, *Două noi ştiinţe*, în anul 1638, a fost data-cheie sau poate publicarea celei mai mari lucrări a lui Isaac Newton, *Principiile Matematice ale Filosofiei Naturale* (cunoscută în general, după denumirea ei mai scurtă din latină, ca *Principia*), în anul 1687, a fost momentul naşterii fizicii. Dar este indiscutabil că înainte de Galilei nu exista ca ştiinţă adevărată, iar după Newton fizica a fost complet înfiinţată ca ştiinţă în forma modernă, recunoscută azi. Deci toate realizările acestei ştiinţe au fost făcute în ceva mai mult de 300 de ani.



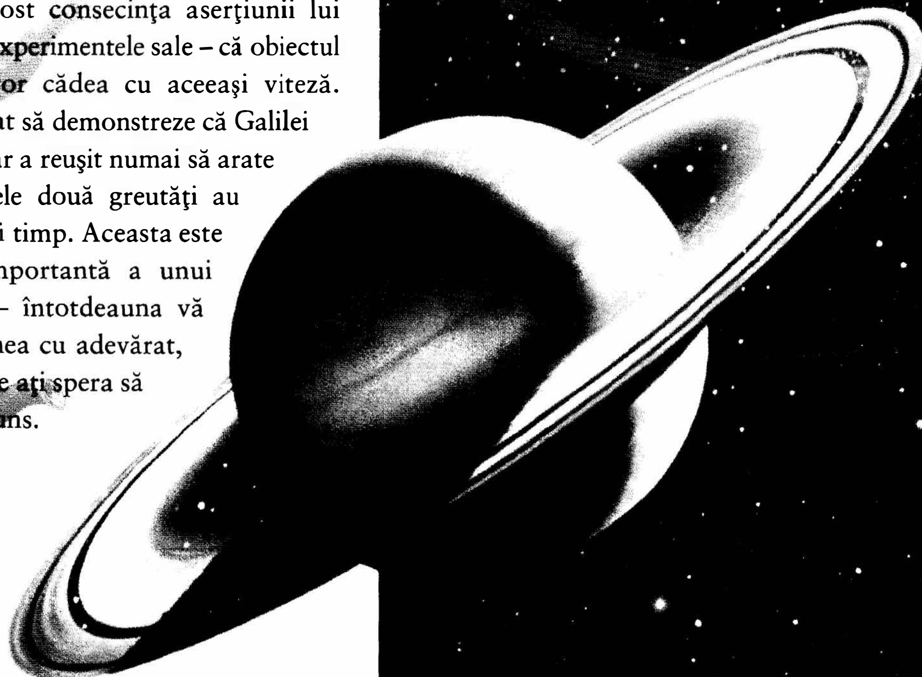
JOS **Imaginea științifică a Universului reieșită din lucrările unor oameni ca Galilei și Newton seamănă cu o mașinărie, funcționând ca rotițele unui ceas, conform unui model bine determinat.**

JOS Intuiţia vă spune că un obiect mai greu trebuie să cadă mai repede decât unul uşor. A fost nevoie de geniul lui Galilei pentru a arăta că intuiţia ne mai înşeală uneori, iar singura cale către adevărul ştiinţific este experimentul – sau experienţa. Aruncaţi o ceaşcă uşoară şi un castron în acelaşi timp şi vor lovi pământul în acelaşi timp.

FILOSOFIE ABSTRACTĂ

Ceea ce s-a petrecut cu fizica înainte de Galilei a fost un fel filosofie abstractă, al cărei caracter ridicol este evidenţiat de povestea greutăţilor aruncate din turnul înclinat din Pisa. De fapt, Galilei însuşi nu a realizat niciodată un astfel de experiment. El a investigat modul în care cad obiectele sub influenţa gravitaţiei rostogolind diferite bile în jos pe plane înclinate şi cronometrându-le coborârea folosind cele mai pecise tehnici posibile în acea perioadă.

Dar ideea este că exista o dezbatere între adepţii „filosofiei naturale“ dacă o bilă uşoară şi una grea aruncate de la o anumită înălţime cad cu aceeaşi viteză şi ating solul simultan, sau dacă obiectul mai greu cade mai repede şi atinge primul solul. Înainte de Galilei, niciunul dintre aceşti „filosofi“ nu s-a deranjat să efectueze experimentul; în schimb, au încercat să găsească un răspuns exclusiv prin raţionament, modul în care ar fi încercat să demonstreze o teoremă matematică. Galilei a fost acela care a început să testeze teoriile prin experimente reale, şi faptul că unul dintre oponenţii săi chiar a desfăşurat experimentul din turnul înclinat a fost consecinţa aserţiunii lui Galilei - bazată pe experimentele sale – că obiectul greu şi cel uşor vor cădea cu aceeaşi viteză. Oponentul a încercat să demonstreze că Galilei nu avea dreptate, dar a reuşit numai să arate că are dreptate: cele două greutăţi au atins solul în acelaşi timp. Aceasta este o caracteristică importantă a unui experiment onest – întotdeauna vă spune cum este lumea cu adevărat, indiferent cât de tare aţi spera să obţineţi alt răspuns.







LEGILE UNIVERSALE

Isaac Newton, care a trăit din 1642 (anul în care a murit Galilei) până în anul 1727, a fost şi el un mare adept al experimentelor, care a înţeles deplin nevoia de a testa teoriile pe calea deschisă de Galilei. Dar a înţeles şi că modul în care se comportă obiectele din lumea largă este guvernat de legi care sunt literalmente universale: se aplică tot timpul, pe tot Pământul şi în întregul Univers.

Lucrul pentru care este cel mai faimos Newton este că a înţeles că forţa gravitaţională care atrage un măr aflat în pom este aceeaşi forţă, supusă aceleiaşi legi, ca şi forţa gravitaţională care menţine Luna pe orbita ei în jurul Pământului şi planetele pe orbitele lor în jurul Soarelui. Într-adevăr, legea gravitaţiei este una dintre legile universale care se aplică oricărui obiect din Univers, chiar şi stelelor. A fost Newton acela care, prin abordarea sa logică şi riguroasă a ştiinţei, a distrus ideea că Universul ar putea fi guvernat de zei capricioşi, care ar putea determina căderea unui măr sau mişcarea unei stele după bunul lor plac. El a înlocuit această idee cu conceptul unui Univers funcţionând inexorabil, conform unor legi predeterminate inviolabile: legile naturii, care ar putea fi descoperite dacă fizicienii ar fi destul de pricepuţi să facă experimentele potrivite. Şi aceasta este povestea fizicii din ultimele patru secole – căutarea legilor universale, care pot fi descoperite prin efectuarea unei serii de experimente tot mai subtile.

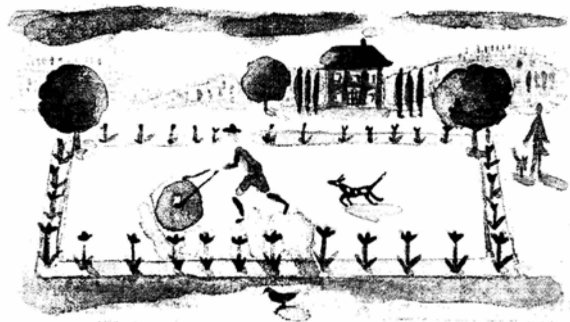


SUS **Cea mai faimoasă demonstraţie a legilor lui Newton a fost efectuată de astronauţi pe Lună, lăsând să cadă un ciocan şi o pană împreună. Deoarece nu exista aer care să opună rezistenţă căderii penei, ambele au atins suprafaţa în acelaşi timp.**

CENTRU **Newton a spus că orice obiect care nu este supus altor forţe exterioare se mişcă în spaţiu în linie dreaptă. Planetele se mişcă pe orbite închise deoarece sunt deturnate de la traiectoria lor rectilinie de atracţia gravitaţională a Soarelui.**



STÂNGA **Isaac Newton este uneori numit ultimul vrăjitor, deoarece a făcut şi experimente de alchimie. Pentru cei mai mulţi dintre contemporanii săi, ideile sale despre fizică au implicat la fel de multă magie ca şi ideea transformării plumbului în aur.**



STÂNGA **Dacă aţi încercat vreodată să puneţi în mişcare un tăvălug greu, înseamnă că ştiţi exact ce este inerţia. Niciun obiect nu se mişcă decât dacă este împins sau tras cu o forţă – iar cu cât obiectul este mai greu, cu atât trebuie să fie mai mare forţa care să-l pună în mişcare.**

Inerţia

Una dintre cele mai importante intuiţii ştiinţifice este că orice obiect continuă să se mişte pe o traiectorie rectilinie cu viteză constantă (sau rămâne nemişcat), în afara cazului în care este împins sau tras de o forţă. Acest lucru a fost formulat prima dată ca lege a naturii (prima lege a mişcării) de către Isaac Newton. Această proprietate, inerţia, nu era evidentă, şi chiar Galilei a înţeles-o numai pe jumătate. Galilei a înţeles, din experimentele sale de rostogolire a bilelor pe plane inclinate, că dacă nu există frecare, bila va continua să se rotească spre orizont. Dar ştia şi că Pământul este rotund, iar mişcarea „către orizont" era de fapt mişcarea de-a lungul unui cerc pe suprafaţa Pământului. Deci a crezut că legea naturală a inerţiei era ca obiectele să se mişte în cerc, ceea ce ar explica şi orbitele planetelor. Newton a fost cel care a înţeles că, la fel ca orice altceva, planetele „vor" să se deplaseze rectiliniu, dar sunt desigur atrase de o forţă – forţa gravitaţională.

Cea mai clară demonstraţie a inerţiei a fost dată în anul 1640, cu doi ani înainte de naşterea lui Newton. Francezul Pierre Gassendi, personalitate enciclopedică, s-a decis să afle dacă un obiect aruncat dintr-un vehicul aflat în mişcare ar cădea în jos, sau va păstra mişcarea rectilinie a vehiculului. El a folosit o galeră de scavi care se deplasa în linie dreaptă pe suprafaţa calmă a Mediteranei, s-a urcat în vârful catargului şi a aruncat o serie de bile. Ele au căzut la piciorul catargului, păstrând mişcarea galerei în timp ce cădeau.



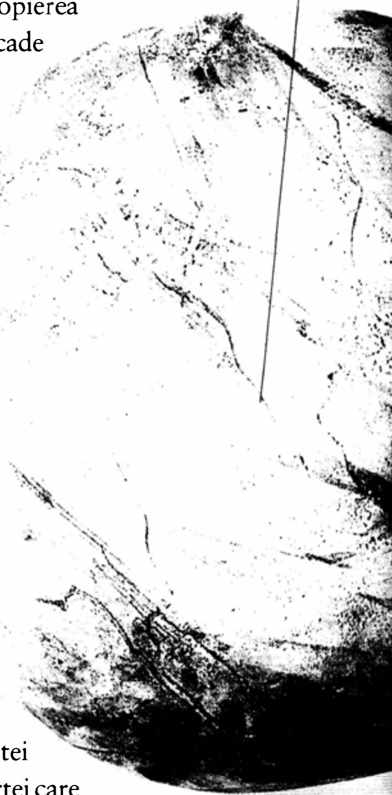
SUS **Newton şi-a dat seama că forţa care atrage un măr din copac spre sol este aceeaşi ca şi forţa care menţine Luna pe orbită în jurul Pământului – gravitaţia. Numai o lege pătratică inversă a gravitaţiei explică şi mişcarea mărului şi pe cea a Lunii.**

Teoria orbitală

Newton a spus că ideile despre natura gravitaţiei i-au venit gândindu-se la căderea unui măr şi la orbita Lunii. El ştia că acceleraţia cauzată de gravitaţie va face orice obiect aflat în apropierea suprafeţei Pământului, inclusiv un măr care cade din pom, de la circa 5 metri (în unităţile de măsură pe care le folosea el) să ajungă jos într-o secundă. Conform primei sale legi a mişcării, Luna „vrea" să se deplaseze în linie dreaptă, deci trebuie să existe o forţă care o abate pentru a o menţine pe orbită în jurul Pământului. Imaginaţi-vă că Luna se deplasează rectiliniu timp de o secundă, apoi ceva o trage în lateral, punând-o din nou pe orbita ei circulară. Dacă acest lucru se repetă în continuu şi dacă toate aceste acţiuni de abatere au mărimea corespunzătoare, Luna va rămâne într-adevăr pe orbită. Meritul lui Newton a fost că a înţeles că sursa acestei abateri este aceeaşi ca şi sursa forţei care atrage mărul din pom pe sol – gravitaţia Pământului.

Abaterile repetate, necesare pentru a păstra Luna pe orbită, sunt cam de un milimetru, în unităţile folosite de Newton, în fiecare secundă. Deci Luna „cade" sub influenţa gravitaţiei Pământului cu 1 mm într-o secundă. Aceasta înseamnă 1/3800 din forţa cu care mărul este atras spre suprafaţa Pământului. Dar Luna este cam de 60 de ori mai departe de centrul Pământului decât mărul. Iar 3800 este mai mare decât pătratul lui 60, deci forţa de gravitaţie exercitată asupra Lunii este invers proporţională cu pătratul distanţei. Gravitaţia are o lege pătratică inversă, iar aceeaşi lege explică orbitele planetelor din jurul Soarelui.

O piatră cu aceeaşi masă ca cea a Lunii





ISAAC NEWTON
1642–1727
Cel care a creat metoda ştiinţifică, Newton este considerat în general cel mai mare savant al tuturor timpurilor. A introdus ideea existenţei unor legi universale care se aplică peste tot în timp şi spaţiu.

O piatră cu masa unui măr

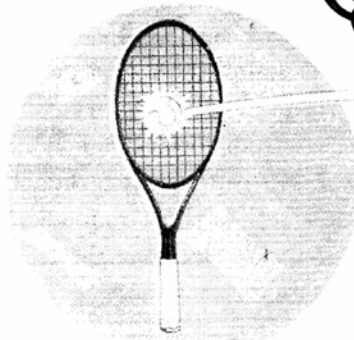
CELELALTE LEGI ALE LUI NEWTON

A doua lege de mişcare a lui Newton spune că dacă este aplicată o forţă unui obiect aflat în mişcare uniformă şi rectilinie, viteza sa se schimbă cu o rată proporţională cu forţa aplicată, în direcţia în care este aplicată forţa. Cu alte cuvinte, mişcarea corpului este accelerată. Dar cu cât este mai mare masa obiectului, cu atât este mai greu să fie accelerat, deoarece are o inerţie mai mare. În limbaj matematic, dacă forţa aplicată este F şi masa obiectului este m, acceleraţia este dată de ecuaţia $F \div m = a$.

A treia lege de mişcare este cea folosită la rachetele spaţiale când se ridică de pe suprafaţa Pământului. Când o forţă (pe care Newton o numea acţiune) este aplicată unui corp, corpul reacţionează cu o forţă de mărime egală în sens opus, numită reacţiune. Când staţi pe sol, gravitaţia vă atrage spre centrul Pământului. Dar nu căpătaţi o mişcare accelerată în jos, deoarece solul vă împinge cu o forţă egală şi de sens contrar, anulând efectul gravitaţiei, iar dumneavoastră rămâneţi nemişcat.

Când gazele fierbinţi sunt împinse afară pe la capătul rachetei, reacţiunea împinge racheta. Reacţiunea este cea care ridică racheta spre cer, împotriva atracţiei gravitaţionale. Gazele fierbinţi nu trebuie să împingă solul, aerul, absolut nimic, iar acesta este motivul pentru care pot propulsa racheta în spaţiu.

FORŢĂ ŞI ACCELERAŢIE



SUS **Datorită celei de-a doua legi de mişcare a lui Newton, cu cât racheta loveşte mingea mai tare, cu atât aceasta se va mişca mai repede.**

Forţa gravitaţională împinge orice obiect de-a lungul unei drepte, trecând prin centrul obiectului.

Gravitaţia este o forţă care afectează toate obiectele în mod egal, indiferent de masa lor.

SUS **Cu cât un obiect este mai greu, cu atât este mai mare atracţia sa gravitaţională. Şi atunci de ce Gravitaţia (bărbatul din imagine) nu atrage piatra mai grea mai repede decât piatra mai uşoară? Răspunsul este că piatra mai grea are o inerţie mai mare, astfel încât este nevoie să fie împinsă mai tare pentru a se deplasa.**

Natura luminii

Legile pe care le-a descoperit Newton au dominat fizica timp de peste 200 de ani şi încă reprezintă baza unei mari părţi a tehnologiei din zilele noastre, de la comportarea bilelor de biliard la designul unei nave spaţiale trimisă să colecteze probe pe alte planete ale Sistemului Solar. Ele susţin că obiectele continuă să se deplaseze rectiliniu atâta timp cât nu sunt atrase sau respinse de vreo forţă şi că reacţionează la forţele care le împing sau le atrag. Era firesc ca Newton să încerce să explice lumina în acelaşi mod. El considera că lumina este alcătuită dintr-un fascicul de mici particule, sau corpusculi, care se mişcă (reflectate fiind de oglinzi, de exemplu) conform aceloraşi legi care descriu modul în care mărul cade din pom, sau modul în care bilele de biliard se comportă după o ciocnire.

Această idee a dominat gândirea ştiinţifică despre natura luminii timp de peste 100 de ani, chiar în secolul XVIII, dar nu din cauză că existau dovezi experimentale copleşitoare în favoarea ei. Motivul este că ideea îi aparţinea lui Newton, care era privit ca un oracol în toate aspectele ştiinţifice. Din păcate, Newton se înşelase. Lumina nu călătoreşte prin spaţiu ca un fascicul format din mici gloanţe (aşa cum vom vedea ulterior, totuşi, într-un fel, Newton s-a înşelat numai pe jumătate). Şi, în mod crucial, înţelegerea tot mai bună a luminii a oferit cheia către următoarea mare dezvoltare în înţelegerea ştiinţifică a lumii. Parţial datorită umbrei aruncate de către Newton asupra secolului XVIII, mai buna înţelegere a luminii – şi revoluţia ştiinţifică ce avea să-i urmeze – au trebuit să aştepte până în secolul XIX.

Teoria undelor

Din păcate, acest lucru i-a fost nefavorabil lui Christiaan Huygens, fizician şi astronom olandez care a trăit în perioada 1629-1695, a cărui carieră ştiinţifică activă s-a suprapus cu cea a lui Newton. Dacă nu ar fi existat Isaac Newton, Huygens ar fi fost considerat cel mai important savant al vremii sale. El a explicat mişcarea unui pendul şi a folosit aceste cunoştinţe pentru a proiecta cu succes primul ceas cu pendulă. Astronom talentat, a fost primul care a dat o explicaţie corectă inelelor lui Saturn. Dar cea mai mare realizare a sa a fost teoria luminii – o teorie care a descris lumina în termenii undelor, nu ai particulelor. Teoria undelor a lui Huygens a fost enunţată în anul 1678 şi publicată în formă completă în anul 1690. Dar a fost în general ignorată timp de peste 100 de ani, pur şi simplu pentru că era incompatibilă cu teoria lui Newton (sau aşa părea în acel moment). Huygens a tratat lumina ca vibraţii în mediul cuprinzător care umple Universul, iar modelul său a explicat refracţia şi reflexia. Modelul corpuscular al lui Newton a explicat şi refracţia şi reflexia, dar cele două explicaţii se bazau pe premize diferite.

Conform teoriei lui Huygens, lumina călătoreşte mai lent într-un mediu mai dens (deci mai lent în apă decât în aer), în timp ce, conform teoriei lui Newton lumina călătoreşte mai repede într-un mediu mai dens (deci mai repede în apă decât în aer). Până în secolul XIX nu a putut fi făcut un test destul de precis pentru a alege una dintre cele două idei contradictorii. Când în sfârşit a fost făcut testul, Huygens a fost răzbunat. Dar până atunci fusese deja stabilit fără îndoială că lumina (ca toate radiaţiile electromagnetice) călătoreşte într-adevăr sub formă de undă.



CHRISTIAAN HUYGENS
1629–1693
Din nefericire, cariera sa a fost umbrită de monumentalele realizări ale lui Isaac Newton, dar Huygens a fost primul care a dezvoltat o teorie satisfăcătoare a luminii.



STÂNGA **Când lumina albă, provenită de la Soare, trece printr-o prismă de sticlă, se descompune în culorile curcubeului. Acum ştim că fiecare culoare corespunde unei alte lungimi de undă a luminii.**

REFLEXIA ŞI REFRACŢIA

Prima teorie ondulatorie a luminii a fost dezvoltată de către Christiaan Huygens la sfârşitul secolului XVII. El a propus un model care descrie modul în care se propagă undele, încă util în zilele noastre.

Conform lui Huygens, fiecare punct din frontul de undă poate fi considerat o nouă sursă de unde, iar suprafaţa care uneşte aceste unde secundare devine noul front de undă. Această idee face posibilă calcularea modului în care se deplasează undele folosind numai geometria şi exclude nevoia de a înţelege deplin realitatea fizică a undelor.

Reflexia este foarte uşor de înţeles din acest punct de vedere, deoarece undele luminoase sunt reflectate pe suprafaţa reflectantă (cum ar fi o oglindă) la acelaşi unghi ca şi cele incidente. Încercarea de a alege între unde şi teoria particulelor a lui Newton nu are succes în cazul reflexiei, totuşi, deoarece particulele sunt reflectate de suprafaţă în acelaşi mod, fenomen similar cu traiectoria bilelor de biliard.



SUS Puteţi vedea refracţia doar băgând un beţişor în apă. De fapt, razele luminoase sunt frânte, nu băţul.

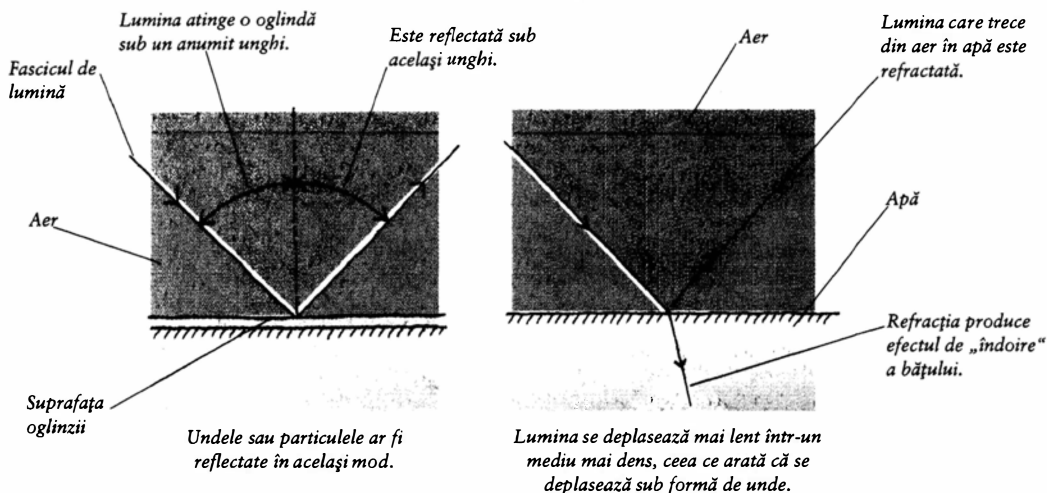
Raze frânte

Refracţia este mai interesantă. Când lumina trece dintr-un mendiu mai puţin dens (ca aerul) într-un mediu mai dens (ca apa), fasciculul de lumină se frânge (îşi schimbă înclinaţia), astfel încât să facă un unghi mai mic cu suprafaţa de separaţie dintre cele două medii. Această frângere a razelor de lumină este motivul pentru care un băţ drept care se află pe jumătate în apă şi pe jumătate în aer pare să fie rupt.

Teoria undelor explică acest fenomen în termenii reducerii vitezei luminii într-un mediu mai dens, dar conform teoriei corpusculare a lui Newton, acest lucru se întâmplă deoarece particulele se deplasează mai repede în mediul mai dens. Problema a rămas nerezolvată până în anul 1850, când tehnicile experimentale au fost destul de bune pentru ca fizicianul francez Jean Foucault să măsoare într-adevăr diferenţa de viteză. Măsurătorile lui Foucault au arătat că viteza luminii este mai mică în apă decât în aer, ceea ce a confirmat că lumina se deplasează sub formă de undă.

Reflexia şi refracţia

DREAPTA Şi teoria undelor şi cea a particulelor au făcut aceleaşi predicţii despre modul în care sunt reflectate razele de lumină. Dar cele două teorii au făcut predicţii contradictorii despre modul în care sunt afectate razele luminoase de refracţie. Experimentele au dovedit că lumina se deplasează sub formă de unde.





THOMAS YOUNG
1773–1829
Figură enciclopedică ce a strălucit în ştiinţă şi medicină, Young a fost figura centrală în decodarea pietrei de la Rosetta. În primii ani ai secolului XIX a readus în discuţie teoria ondulatorie a luminii, care fusese lăsată deoparte de când Isaac Newton triumfase cu teoria sa corpusculară a luminii la sfârşitul secolului XVII.

UNDELE LUMINOASE

Experimentele-cheie care arată natura luminii au fost desfăşurate la începutul secolului XIX de către Thomas Young în Anglia (apoi, continuând re-inventarea teoriei undelor, de către Augustin Fresnel în Franţa). Cea mai memorabilă demonstraţie a fost făcută de către Young, care a folosit două fascicule de lumină ce treceau prin două fante ale unui perete. Fasciculele propagate prin ele au interacţionat formând un model de lumină cu benzi întunecate pe un al doilea perete, exact în modul în care interacţionează valurile care se propagă pe suprafaţa unui lac pentru a produce un model de interferenţă. Nu mai era niciun dubiu că lumina se deplasa ca o undă. Dar, de fapt, ce însemna mai exact acest lucru? Putem vedea valurile de la suprafaţa unui lac, în timp ce apa se mişcă în sus şi în jos; putem auzi undele sonore, în timp ce aerul este mişcat de trecerea undelor. Dar ce sunt acele dungi produse la trecerea luminii? Fizicienii le-au dat un nume, eter, dar nu aveau idee din ce era făcut eterul.

A fost nevoie de munca a doi savanţi, în generaţii succesive, şi de zeci de ani de muncă pentru a rezolva acest mister. Unul dintre motivele pentru care a fost necesar atât de mult efort a fost faptul că a implicat introducerea unui concept complet nou în ştiinţă, ideea de câmp de forţă. Ideea i-a aparţinut lui Michael Faraday, printre altele, unul dintre cei care au popularizat ştiinţa cel mai mult (şi un mare savant). El a început tradiţia lecturilor de Crăciun de la Royal Institution din Londra.



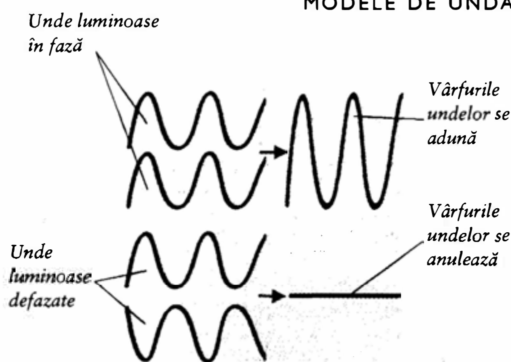
SUS **Când undele se propagă pe suprafaţa unui lichid, ele interferează şi formează diferite modele. Experimentele lui Young cu lumina au dat rezultate similare.**

CÂMPURILE DE FORŢE

Faraday a propus ideea care acum este familiară a liniilor de forţă, un termen inventat pe care l-a utilizat mai întâi într-un articol ştiinţific din anul 1831. Conceptul este mai uşor de înţeles în termeni de magnetism, folosind un experiment pe care îl cunosc mai toţi elevii. Când un magnet este aşezat sub o foaie de hârtie acoperită cu pilitură de fier, iar foaia de hârtie este bătută uşor cu degetul, pilitura se aranjează singură pe nişte linii curbe între polii nord şi sud ai magnetului. Aceste linii marchează liniile de forţă: traiectoriile care ar fi urmate de un pol magnetic liber (dacă ar exista) deplasându-se în spaţiu de la un pol al magnetului la altul.

Liniile de forţă pot fi generate de un magnet permanent sau de un curent electric care trece printr-o bobină. Câmpul de forţă însuşi poate genera şi el un curent electric. Într-un document pe care l-a scris în anul 1832, dar nu l-a arătat nimănui în acea perioadă, Faraday a sugerat că lumina ar putea fi explicată în termenii vibraţiei acestor linii de forţă şi că ar fi necesar un anumit timp pentru propagarea oricărei influenţe electrice sau magnetice de la un magnet în exterior dacă magnetul ar fi fost perturbat în vreun fel. Ideea câmpurilor de forţă a devenit una dintre ideile ştiinţifice cruciale.

MODELE DE UNDĂ

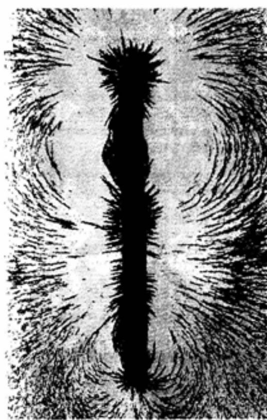


STÂNGA **Modul în care este creat modelul cu benzi luminoase şi benzi întunecate de către cele două fascicule de lumină din experimentul lui Young arată că lumina se comportă ca o undă. Atunci când undele interacţionează în fază, se adună şi formează benzi luminoase, iar când interacţionează defazat undele se anulează reciproc, formând benzi întunecate.**

LINII DE FORȚĂ



SUS Liniile de forță care definesc un câmp magnetic pot fi văzute când pilitura de fier este împrăştiată în jurul unui magnet.



SUS Pilitura este atrasă către polii nord şi sud, aranjându-se în linii curbe între poli – linii de forță. Faraday a sugerat că lumina ar putea fi considerată ca unde deplasându-se de-a lungul acestor linii de forță.

EXPERIMENTUL CU O FANTĂ

Puteți să demonstrați chiar dumneavoastră natura ondulatorie a luminii, folosindu-vă degetele. Țineți mâna ridicată în lumină, cu palma spre dumneavoastră şi degetele lipite. Acum despărțiți încet două degete (foarte foarte încet). În spațiul îngust dintre cele două degete, veți vedea nişte linii întnecate. Acestea sunt produse de interferență, în timp ce undele de lumină trec pe lângă degete în fanta îngustă pe care ați făcut-o şi interacționează.

Degetele lipite
Mâna ridicată în lumină
Despărțiți încet două degete
Linii intunecate
Palma spre dumneavoastră

EXPERIMENTUL CU DOUĂ FANTE

Tot misterul şi întreaga ciudăţenie a lumii cuantelor sunt conţinute în experimentul cu două fante, folosit iniţial de către Thomas Young pentru a demonstra că lumina este o undă. Mai recent, Richard Feynman a spus că acest experiment „conţine esenţa mecanicii cuantice", iar cu altă ocazie a declarat că „orice situaţie care apare în mecanica cuantică poate fi explicată spunând «Vă amintiţi cazul experimentului cu două fante? Aici este acelaşi lucru»". Deci iată experimentul.

Experimentul este proiectat pentru a demonstra comportamentul undelor, iar toată lumea ştie ce sunt undele – cu toţii am văzut valurile de pe un lac sau din cada cu apă. Dacă aruncaţi o piatră într-un lac, puteţi vedea undele propagându-se clar în cercuri, în jurul locului în care a căzut piatra. Dacă aruncaţi două pietre într-un lac, obţineţi două seturi de unde, care interferează creând un model complicat. Ceea ce a făcut Young a fost să găsească un mod de a crea acest model mai complicat.

UNDELE CARE SE PROPAGĂ

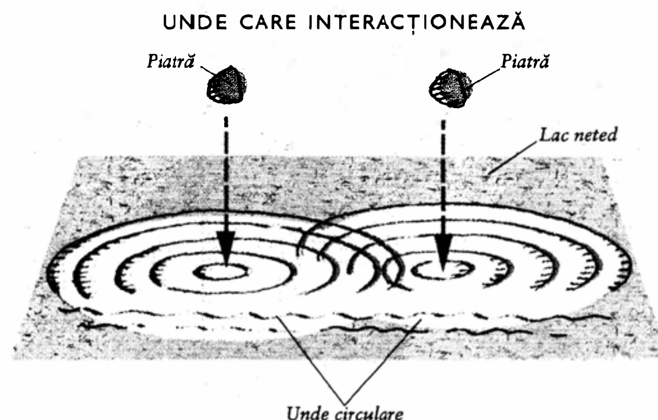
Pentru a obţine o sursă de lumină uniformă, a trecut mai întâi lumina printr-o singură fantă de pe un ecran, astfel ca undele să se propage din această unică fantă precum valurile produse de o piatră aruncată într-un lac. Aceste unde care se propagă au întâlnit ecranul cu două fante. (Young a folosit fante foarte înguste făcute cu lama, dar experimentul funcţionează şi cu mici orificii circulare, făcute cu acul.)



RICHARD FEYNMAN
1918–1988
Unul dintre cei mai mari fizicieni de după Newton, Feynman, a dezvoltat cea mai cuprinzătoare şi simplă versiune a teoriei cuantelor în anii 1940, în teza sa de doctorat. A primit premiul Nobel pentru teoria electrodinamicii cuantice şi şi-a adus multe alte contribuţii în fizică.

Deoarece lumina provenea iniţial din fanta unică din primul ecran, undele propagate până la marginea celui de al doilea ecran din fiecare dintre cele două fante s-au deplasat în paralel, ca undele făcute de două pietre aruncate în lac exact în acelaşi moment. Undele circulare (sau strict vorbind, semicirculare) s-au propagat la cealaltă margine a ecranului cu două fante şi au căzut pe un al treilea ecran. Acest ecran a fost ţinut în întuneric complet, separat de lumina creată de undele care radiau din cele două fante.

UNDE CARE INTERACŢIONEAZĂ



SUS Cele mai multe unde pe care le vedeţi pe lacuri sunt dezordonate. Pentru a demonstra corect interferenţa, trebuie să aruncaţi două pietre într-un vas cu apa nemişcată exact în acelaşi moment. Prin interacţiunea undelor apare un model clar de interferenţă.

MODELE DE LUMINĂ ŞI ÎNTUNERIC

Când Young a trimis lumina prin dispozitivul său, a produs un model de benzi luminoase şi întunecate pe al treilea ecran. În locurile în care cele două seturi de unde erau la amplitudinea maximă, s-au adunat, formând o bandă strălucitoare de lumină, iar în locurile în care vârful (punctul de amplitudine maximă al) unei unde a coincis cu punctul de amplitudine minimă al celeilalte unde, s-au anulat, creând o bandă întunecată.

Modelul de benzi luminoase şi întunecate de pe ultimul ecran era exact modelul care trebuia să fie produs de interferenţa undelor. Într-adevăr, puteţi folosi spaţiul măsurat dintre benzile luminoase şi cele întunecate de pe ecran pentru a calcula lungimea de undă a luminii care trece prin acest experiment. Acesta este motivul pentru care, după lucrările lui Young, fizicienii din secolul XIX au fost convinşi că lumina este un fenomen pur ondulatoriu – dar întrucât lungimea de undă a luminii a fost pusă în evidenţă astfel încât era de o milionime de metru, se explică şi de ce nimeni nu observase acest lucru mai înainte.

Este crucial să observăm că modelul interferenţei nu este acelaşi pe care l-am obţine dacă am aduna lumina din cele două fante

independent. Dacă numai una dintre fantele de pe ecranul din mijloc ar fi fost deschisă, am fi obţinut o pată de lumină pe ultimul ecran, centrată în spatele acelei fante. Dacă, în schimb, ar fi fost deschisă cealaltă fantă, am fi obţinut o pată de lumină în spatele acelei fante. Dar când ambele fante sunt deschise, creând efectul cu benzi, pata cea mai strălucitoare de pe ultimul ecran este exact la jumătatea distanţei dintre cele două pete strălucitoare pe care le-aţi obţine dacă fiecare fantă ar fi fost deschisă separat.

Din nefericire, totuşi, există dovezi concludente că lumina se poate comporta şi ca un flux de mici particule, numite fotoni. Deci lumina pare să fie şi particulă şi undă. Această dualitate cuantică este pusă în evidenţă atunci când echivalentul experimentului cu fante al lui Young este efectuat folosind electroni, care de obicei sunt consideraţi particule. Acest experiment a fost efectuat destul de recent, de către o echipă de la laboratoarele de cercetări Hitachi şi de la Universitatea Gakushuin din Tokyo.

Particule cu comportament de unde

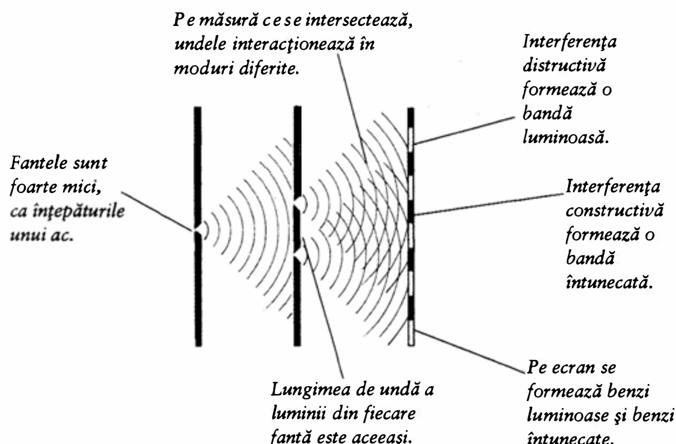
În această versiune a experimentului cu două fante, electronii au fost lansaţi prin dispozitiv unul câte unul, din capătul unui microscop electronic. Nu există vreun dubiu că au părăsit „tunul" sub formă de particule individuale. La capătul îndepărtat al ecranului detector, sosirea lor a fost înregistrată pe un ecran asemănător unui ecran TV, în care fiecare electron producea o scânteie luminoasă. Fără îndoială, fiecare electron a ajuns la destinaţie ca particulă unică. Spre deosebire de un televizor obişnuit, totuşi, acest detector a păstrat pata strălucitoare corespunzătoare sosirii fiecărui electron individual, aprinzându-se pe măsură ce soseau tot mai mulţi electroni. Ce model v-aţi aştepta să apară pe ecran?

Dacă electronii sunt particule, răspunsul pare evident din experienţa de fiecare zi. Dacă staţi de o parte a unui perete înalt cu două găuri şi aruncaţi pietre în direcţia generală a peretelui, fără a vă strădui să ţintiţi precis, unele pietre ar trece prin fante. Pietrele s-ar aduna în două grămezi pe fiecare parte, câte o grămadă în dreptul fiecărei fante. Aşa a făcut echipa japoneză – oare a văzut formându-se pe ecranul detector două lumini strălucitoare, câte una la fiecare fantă? Nu!

Pe măsură ce zeci, sute, apoi mii de electroni treceau prin această versiune high-tech a experimentului cu două fante, unul după altul, fiecare forma propria pată distinctă de lumină pe ecranul detector. Totuşi, modelul format era modelul de interferenţă cu benzi corespunzător undelor. Era ca şi cum fiecare electron se transformase în undă, trecând simultan prin ambele fante, a interferat cu sine însuşi şi şi-a ales destinaţia pe baza locului său din modelul de interferenţă.

Mai rău, pentru a produce modelul general, comportamentul electronilor trebuia să fie coordonat în vreun fel. Deşi părea ridicol, fiecare electron părea să-şi ştie locul potrivit în model, de parcă ştia comportamentul tuturor electronilor de dinaintea lui şi al celor care îi urmau – deşi acest lucru părea imposibil.

UNDE LUMINOASE INTERFERENTE



STÂNGA **Undele luminoase pornesc iniţial în fază când trec prin cele două fante, dar punctele de maxim şi minim ale undelor interacţionează şi fie se anulează, formând o bandă întunecată, fie se adună, formând o bandă luminoasă.**

Nu vă faceţi griji dacă nu înţelegeţi. Nu sunteţi singura persoană care nu înţelege. Fizicianul american Richard Feynman a obţinut premiul Nobel pentru teoria electrodinamicii cuantice şi probabil că el a înţeles cel mai bine teoria cuantică. Dar chiar şi el a spus „Cred că pot mărturisi fără probleme că nimeni nu înţelege mecanica cuantică... Pe cât posibil, încercaţi să nu vă mai întrebaţi tot timpul «Dar cum se poate aşa ceva?» deoarece vă veţi pierde pe un drum fără ieşire, din care nimeni nu a scăpat vreodată. Nimeni nu ştie cum se poate aşa ceva".

TEORIA CINETICĂ

Unul dintre cele mai mari triumfuri ale modelului clasic (newtonian) al lumii a fost aplicarea sa în teoria gazelor din secolul XIX. Teoria se bazează pe imaginea atomilor ca mici obiecte asemănătoare unor bile, mişcându-se într-un gaz, ciocnindu-se unii de alţii şi de pereţii recipientului în care se află, deplasându-se precis conform celor trei legi de mişcare ale lui Newton. Presiunea exercitată de un gaz pe pereţii recipientului în care se află este interpretată ca rezultat al miliardelor de ciocniri dintre aceste particule minuscule şi pereţi, fiecare ciocnire implicând o acţiune şi o reacţiune în modul descris de Newton.

Teoria cinetică explică proprietăţile gazelor, proprietăţi care fuseseră descoperite pe cale experimentală – în particular, modul în care presiunea şi temperatura unui gaz cresc dacă este comprimat într-un volum mai mic, respectiv scad dacă gazului i se permite să se extindă într-un volum mai mare.

CIOCNIRI LA VITEZĂ RIDICATĂ

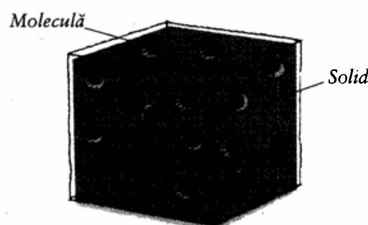
La o temperatură de 0°C şi la o presiune corespunzătoare celei de la nivelul mării, fiecare litru de aer conţine 30000 de miliarde de miliarde de molecule. Ele se deplasează cu o viteză medie de 450 metri pe secundă, iar fiecare moleculă suportă cinci milioane de ciocniri în fiecare secundă, fie cu alte molecule, fie cu pereţii recipientului. Deci distanţa medie pe care o parcurge o moleculă între două ciocniri este de 90 de milionimi de metru.

Aceste idei sunt prezentate în teoria cinetică a căldurii, care prezintă căldura în funcţie de viteza cu care se deplasează atomii componenţi (sau moleculele) unei substanţe. Într-un solid, atomii au o energie relativ mică, ceea ce face ca ei să nu se mişte prea mult. Ei sunt ţinuţi pe loc de forţele de atracţie electromagnetică dintre atomii învecinaţi. Când aceeaşi substanţă se află în stare lichidă, la o temperatură mai ridicată, atomii se mişcă atât de mult încât se eliberează din acele locaţii fixe şi se pot deplasa, alunecând unul peste altul; dar tot se mişcă destul de lent pentru a fi parţial afectaţi de forţele electromagnetice. Într-un gaz, atomii au atât de multă energie şi se mişcă atât de repede, încât nu mai sunt afectaţi de alţi atomi.

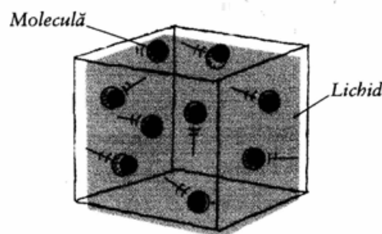
Substanţele diferite se topesc şi vaporizează la temperaturi diferite deoarece există variaţii în forţele de atracţie dintre atomi şi pentru că este necesară mai multă energie pentru ca atomii mai grei să se mişte mai repede.

Teoria cinetică duce la ideea unei temperaturi de zero absolut, la care atomii au energia minimă şi se deplasează cel mai lent posibil, ajungând efectiv să fie nemişcaţi. Acest punct este la -273°C, sau zero pe scala Kelvin.

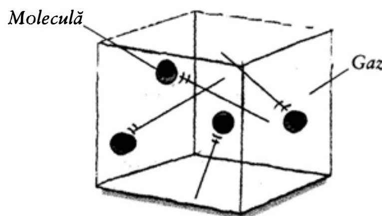
MOLECULE ÎN MIŞCARE ACCELERATĂ



SUS Solidele, lichidele şi gazele conţin acelaşi tip de molecule, dar ele se deplasează cu viteze diferite. Într-un solid precum gheaţa ele nu se mişcă prea rapid şi sunt legate una de alta prin forţe electromagnetice.



SUS Pe măsură ce într-un sistem este transferată energie sub formă de căldură, moleculele reacţionează mişcându-se mai repede şi trecând una peste alta. Acest lucru face ca gheaţa (solidă) să se transforme în apă (lichidă).



SUS Când apa este încălzită, energia face moleculele să se mişte atât de repede încât pierd contactul una cu alta şi – dacă este posibil – se dispersează în spaţiu.



SUS Când azotul lichid este scos dintr-un vas frigorific, moleculele sale primesc energie şi îşi măresc viteza, iar azotul trece în stare gazoasă, amestecându-se cu aerul şi dispărând din vedere.

LINII DE FORȚĂ

SUS **Faraday considera că Soarele se află în centrul unei rețele de forțe, asemenea unui păianjen. Dacă Pământul ar fi fost adus brusc în acest câmp, ar fi „ştiut" că Soarele este acolo deoarece ar fi „simțit" rețeaua.**

Parțial din cauza sănătății sale şubrede, Faraday a fost pregătit abia în anul 1844 să facă publică o teorie completă a câmpurilor de forțe. Apoi, într-o conferință la Royal Institution, a oferit audienței un exemplu clasic de „experiment mintal", evidențiind că ideile sale se aplicau tuturor forțelor din natură, nu numai magnetismului.

Faraday şi-a rugat publicul să-şi închipuie Soarele liber în spațiu, apoi să-şi imagineze că brusc Pământul este plasat lângă Soare, la distanța corespunzătoare. Apoi i-a rugat să se gândească de unde „ştie" Pământul că Soarele e acolo? Conform lui Faraday, o rețea de linii ale forței gravitaționale – câmpul gravitațional – trebuie să se extindă de la Soare în Univers, chiar dacă nu ar exista planete care să fie afectate de influența gravitațională a Soarelui. Dacă Pământul ar fi aruncat în câmpul de forță, ar răspunde instantaneu prin poziția în care este plasat. Nu ar fi nevoie să aştepte ca vreun mesaj să călătorească spre Soare şi înapoi pentru a afla că Soarele este acolo şi a-şi ajusta corespunzător orbita.

În anul 1846, Faraday şi-a adunat ideile despre lumină în altă lectură. „Punctul de vedere pe care îndrăznesc să-l susțin", spunea el, „consideră astfel radiația ca o specie superioară de vibrație în liniile de forță, despre care se ştie că ar conecta particulele şi masele de materie. El anulează ideea existenței eterului, dar nu a vibrațiilor". Cu alte cuvinte, singurul fenomen ondulatoriu existent când lumina se deplasează în spațiu este al câmpului electromagnetic însuşi.



MICHAEL FARADAY
1791–1867
A descoperit principiile motorului electric şi generatorului electric, apoi a continuat punând bazele înțelegerii moderne a electromagnetismului în termenii câmpurilor de forțe.



O TEORIE COMPLETĂ DESPRE LUMINĂ

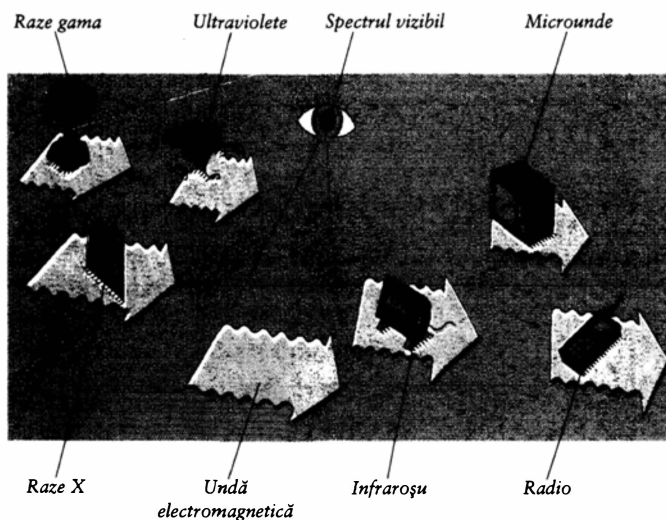
Faraday a murit în anul 1867, chiar după ce împlinise 76 de ani. Dar a trăit destul de mult pentru a vedea cum ideile sale sunt preluate şi transformate într-o teorie completă asupra luminii de către James Clerk Maxwell, un scoţian care a absolvit Universitatea din Cambridge în anul 1854 şi şi-a petrecut următorii zece ani dezvoltând ideile lui Faraday în limbaj matematic.

Maxwell a început studiind modul în care sunt transmise forţele prin câmpurile electrice şi magnetice şi a determinat cât de repede se propagă în spaţiu perturbaţiile din astfel de câmpuri. Răspunsul s-a dovedit a fi determinarea vitezei luminii – o descoperire atât de dramatică şi de impresionantă încât Maxwell însuşi a marcat pasajul relevant dintr-un articol publicat în anul 1862, indicând că „este inevitabilă deducţia că *lumina constă din unduiri transversale ale aceluiaşi mediu care este cauza fenomenelor electrice şi magnetice*". Încântarea sa era provocată de modul în care descoperirea a legat fenomene aparent fără legătură – modul în care un magnet atrage un cui, modul în care este generat fulgerul într-o furtună şi modul în care se reflectă lumina dintr-un lac – toate la un loc: aceasta era prima mare unificare din fizică.

SUS **Studiile lui Michael Faraday asupra electricităţii şi magnetismului au dus la inventarea multor lucruri care par indispensabile în lumea modernă, precum CD player-ul portabil.**

JOS **Ochii noştri pot vedea numai lumina vizibilă – numai o mică proporţie din gama largă de radiaţii electromagnetice, de la raze gama la unde radio.**

RADIAŢIA ELECTROMAGNETICĂ





În anul 1864 Maxwell a publicat *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field (O teorie dinamică asupra câmpului electromagnetic)*, un articol care conţine aproape orice trebuie să ştiţi despre electricitate, magnetism şi lumină, sumarizat în numai patru ecuaţii. Ecuaţiile lui Maxwell dau intensitatea forţei dintre două sarcini electrice, puterea unui câmp magnetic generat de un curent electric de o anumită intensitate care trece printr-un cablu şi multe altele. Şi arată că lumina şi toate radiaţiile electromagnetice sunt tipuri de unde transversale în câmpurile de forţă care umplu Universul.



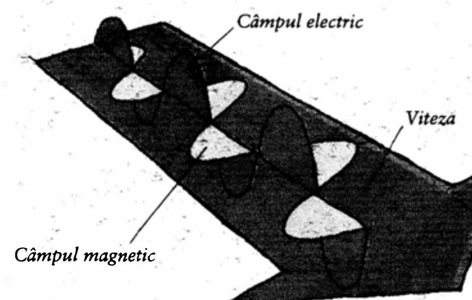
JAMES CLERK MAXWELL
1831–1879
Maxwell a continuat studiul electromagnetismului şi al luminii de unde îl lăsase Faraday şi a dezvoltat o descriere completă a tuturor fenomenelor electromagnetice clasice, sumarizate într-un set de patru ecuaţii – denumite azi ecuaţiile lui Maxwell.

RADIAŢIA ELECTROMAGNETICĂ

Gândiţi-vă la acest lucru ca la valurile pe care le faceţi pe o sfoară când o scuturaţi de la un capăt la altul. Conform vechii teorii a undelor, sfoara ar putea reprezenta eterul. Dar Faraday a descoperit că un câmp electric variabil creează un câmp magnetic perpendicular pe cel electric şi invers, un câmp magnetic variabil creează un câmp electric. Dacă vă imaginaţi valurile electrice deplasându-se de la un capăt la altul de-a lungul sforii, acestea vor crea valuri magnetice în sus şi în jos de-a lungul sforii. Valurile magnetice generează valuri electrice şi aşa mai departe. Nu este nevoie de sfoară – eterul – deoarece undele se generează automat în câmpul de forţă. După ce este introdusă energia, poate plimbând un magnet de colo-colo, undele continuă indefinit, împreună, conform ecuaţiilor lui Maxwell.

Mai mult, ca în cazul tuturor teoriilor bune, şi teoria lui Maxwell a făcut o predicţie. Ar trebui să existe tot felul de unde electromagnetice, nu doar unde luminoase. În particular, ar trebui să existe unde cu lungimea de undă mai mare, deplasându-se cu aceeaşi viteză ca a luminii, care ar putea fi generate în laborator folosind curentul electric prin cabluri. Tocmai aceste unde au fost generate şi studiate de către Heinrich Hertz, în anii 1880; acum ele sunt numite unde radio.

UNDE ELECTROMAGNETICE



SUS **O undă electromagnetică este de fapt alcătuită din două unde aflate în unghi drept una faţă de alta: una aparţine câmpului electric şi cealaltă câmpului magnetic. Ele au aceeaşi lungime de undă care, pentru undele din spectrul vizibil, este lungimea de undă a luminii.**

CENTRU **Mai există câteva demonstraţii spectaculoase ale legăturii dintre lumină şi electricitate în afara fulgerului. Scurta, dar imensa descărcare electrică este aproape orbitor de strălucitoare.**

RELATIVITATEA ŞI VITEZA LUMINII

Spre sfârşitul secolului XIX, era clar că radiaţia electromagnetică, inclusiv lumina, era o formă de vibraţie a unei unde care se deplasa cu o anumită viteză, viteză care, definită de legile naturii, putea fi determinată din ecuaţiile lui Maxwell. Ecuaţiile lui Maxwell şi legile lui Newton au explicat tot ce se ştia despre lumea fizică. Sau poate nu? La sfârşitul anilor 1890, existau două mistere care nu fuseseră tocmai lămurite, iar ele aveau să conducă la cea mai mare revoluţie din fizica tuturor timpurilor, prin aparţia teoriei cuantelor şi a teoriei relativităţii.

Vom începe cu relativitatea, deoarece decurge direct din studiul lui Maxwell asupra vitezei luminii şi pentru că această teorie a fost prima închegată – deşi oamenii deja puneau cap la cap ideile cuantice înainte ca Albert Einstein să-şi enunţe cele două teorii ale relativităţii.

Misterul pe care Einstein (născut în 1879, anul în care a murit Maxwell) l-a preluat a fost cel asupra căruia legile lui Newton şi ecuaţiile lui Maxwell se contrazic într-un aspect crucial. Legile lui Newton descriu, printre altele, modul în care se deplasează corpurile şi relaţiile dintre viteze. Dacă eu conduc o maşină pe un drum drept cu 60 km pe oră şi dumneavoastră veniţi către mine cu 6 km pe oră, atunci viteza relativă dintre noi este de 66 km pe oră (60 + 6). Dacă aş fi destul de nebun încât să trag cu puşca către dumneavoastră din maşina aflată în mişcare, iar glonţul s-ar deplasa cu viteza de 400 km pe oră relativ la mine şi ar trece pe lângă urechea dumneavoastră cu 466 km pe oră (400 + 60 + 6).

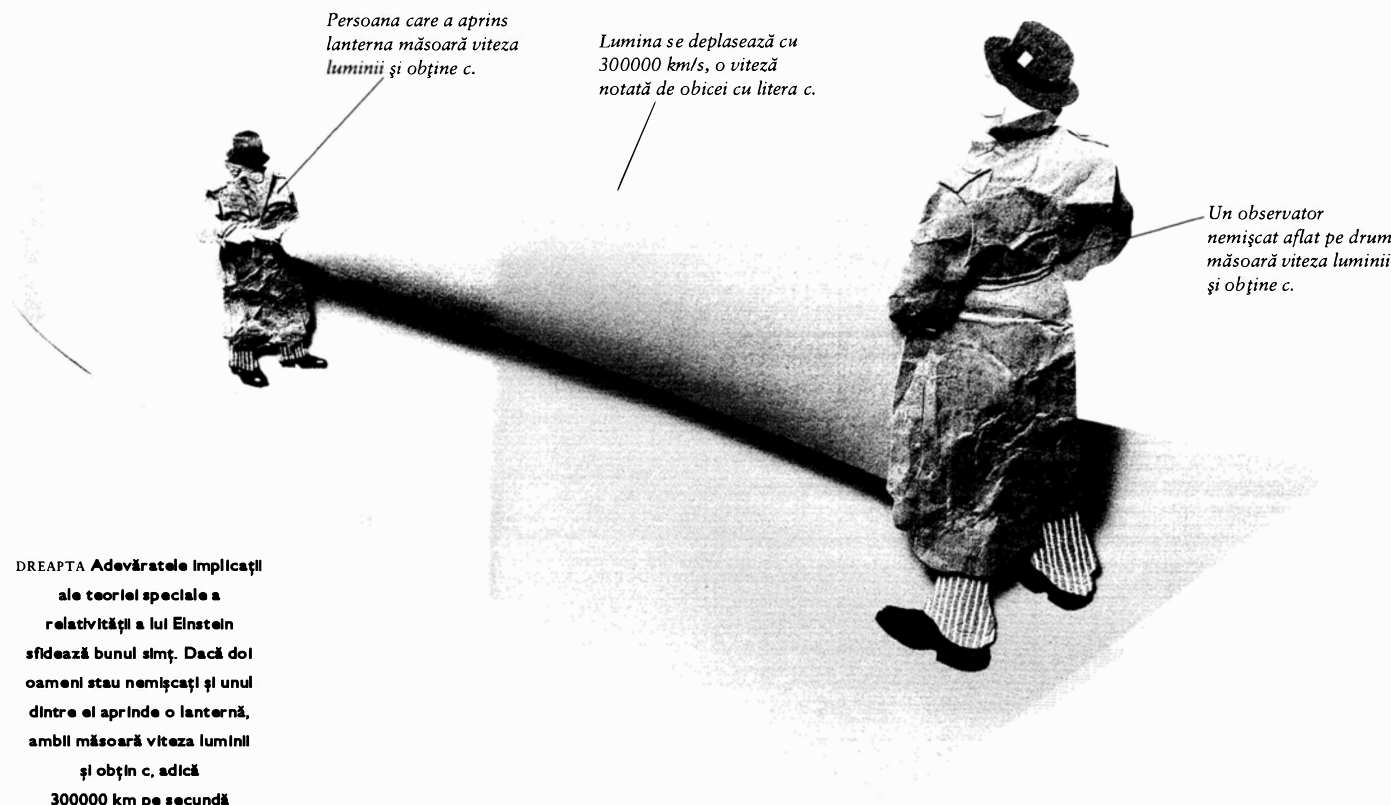
Dar dacă aş aprinde farurile maşinii, astfel ca un fascicul de lumină să se deplaseze în faţa vehiculului? Cât de repede s-ar mişca lumina relativ la mine, dar relativ la dumneavoastră? Viteza luminii este specificată precis de ecuaţiile lui Maxwell şi a fost măsurată cu mare acurateţe prin experimente. Este de 300000 km pe secundă (peste un miliard de km pe oră), dar este notată de obicei prin c. Bunul simţ (şi legile lui Newton) ar spune că viteza luminii relativ la maşină este c,

VITEZA NORMALĂ



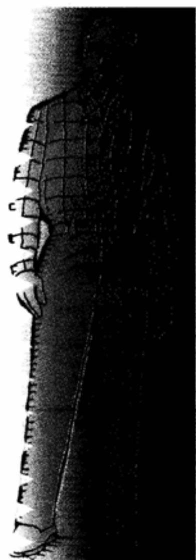
Viteza glonţului poate varia.

SUS **Dacă trageţi un glonţ dintr-o maşină aflată în mişcare, trece pe lângă un observator nemişcat cu o viteză egală cu viteza normală a glonţului plus viteza maşinii.**



DREAPTA **Adevăratele implicaţii ale teoriei speciale a relativităţii a lui Einstein sfidează bunul simţ. Dacă doi oameni stau nemişcaţi şi unul dintre ei aprinde o lanternă, ambii măsoară viteza luminii şi obţin c, adică 300000 km pe secundă**

VITEZA LUMINII



Viteza luminii este fixă.

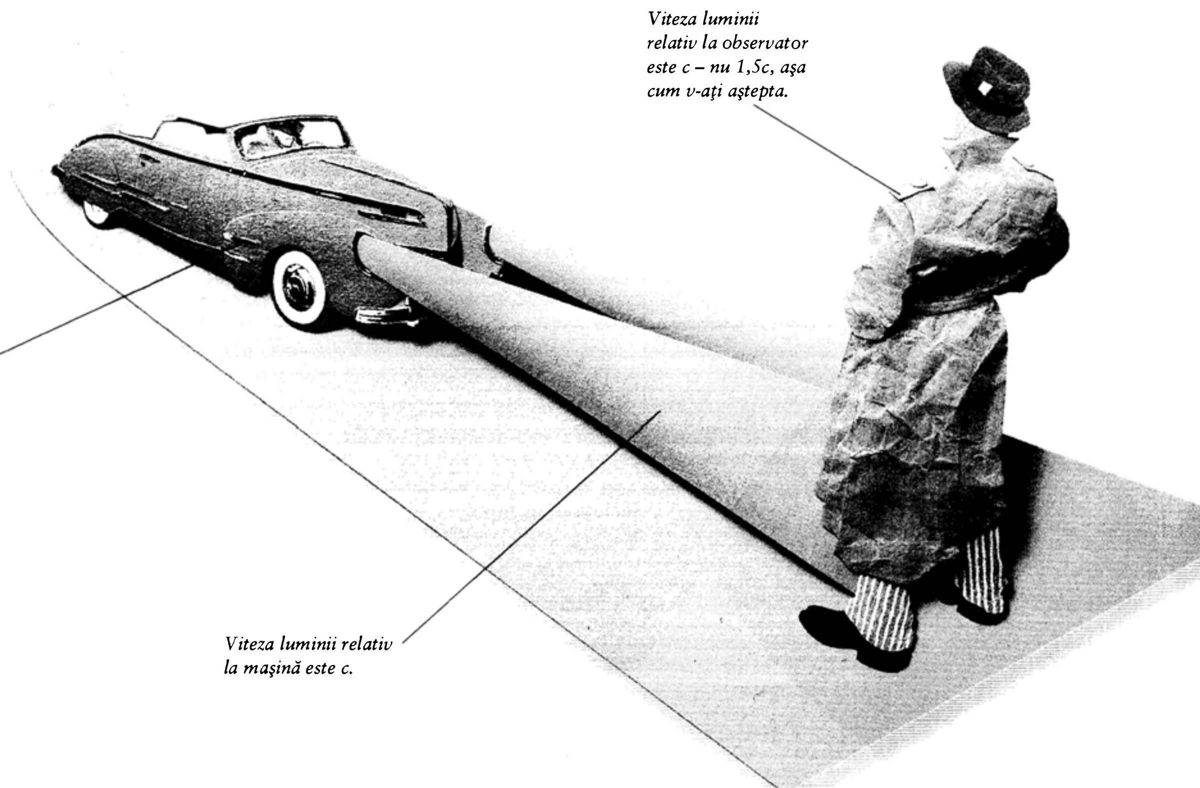
SUS **Dacă aprindeţi o lanternă în timp ce vă aflaţi într-o maşină în viteză, fasciculul de lumină trece pe lângă un observator cu viteza normală a luminii. Viteza maşinii nu are nicio influenţă.**

relativ la drum este c + 60, iar relativ la dumneavoastră este c + 66. Dar ecuaţiile lui Maxwell nu permit acest lucru; ele spun că viteza luminii este c. Punct. Ecuaţiile nu iau în considerare poziţia observatorului care le măsoară, nici faptul că sursa de lumină se poate deplasa relativ la observator. Viteza este întotdeauna c, sau 300000 km pe secundă, nici mai mult nici mai puţin. (Strict vorbind, viteza luminii *în vid* este întotdeauna *c*; viteza se reduce când lumina se deplasează prin aer sau prin sticlă, sau prin orice alt mediu.)

Din acest motiv, ecuaţiile lui Maxwell contraziceau legile lui Newton. La sfârşitul secolului XIX, legile lui Newton existau de peste 200 de ani şi trecuseră cu brio toate testele; poziţia lui Newton de cel mai mare savant care a trăit vreodată era inatacabilă. Ecuaţiile lui Maxwell existau de trei decenii, iar Maxwell, deşi era foarte respectat, nu era perceput în aceeaşi perspectivă ca şi Newton. Era firesc ca savanţii să creadă că nepotrivirea dintre ecuaţiile lui Maxwell şi legile lui Newton arată că este ceva greşit în ecuaţiile lui Maxwell – mai ales fiindcă legile lui Newton sunt conforme cu bunul simţ.

O nouă perspectivă asupra lui Newton

Marea intuiţie a lui Einstein a fost să accepte ecuaţiile lui Maxwell la adevărata lor valoare şi să se gândească la modul în care ar trebui modificate legile lui Newton pentru a fi compatibile cu ecuaţiile lui Maxwell. Cum ar arăta lumea dacă viteza luminii ar fi mereu aceeaşi, adică c, pentru toţi observatorii, indiferent cum s-ar deplasa unul relativ la altul sau relativ la sursa de lumină? Tocmai această intuiţie l-a condus la teoria specială a relativităţii, publicată în anul 1905. Această teorie uneşte spaţiul şi timpul într-un singur pachet matematic, reminiscenţă a modului în care ecuaţiile lui Maxwell unesc electricitatea şi magnetismul. Iar acest lucru nu ar trebui să fie o surpriză, deoarece, până la urmă, viteza are legătură cu spaţiul şi cu timpul. Kilometri pe secundă, mile pe oră, indiferent ce unităţi aţi alege – toate implică spaţiul şi timpul.



DREAPTA **Dacă persoana care aprinde lanterna se deplasează cu o maşină, atunci şi observatorul şi persoana cu lanterna vor măsura viteza luminii şi vor obţine valoarea c. Toate vitezele din Univers sunt relative, exceptând viteza luminii, care este mereu aceeaşi.**

LEGEA SUPREMĂ

Legea cea mai importantă din ştiinţă nu este legea gravitaţiei, nici vreuna dintre legile lui Newton, nici legile fizicii cuantice, nici teoria relativităţii. Are un nume prozaic: a doua lege a termodinamicii. Dacă vi se pare ciudat că un asemenea adevăr fundamental ar trebui să fie a doua lege dintr-un anumit domeniu, motivul este că prima lege a termodinamicii este ceva mai mult decât un preambul, spunând că şi căldura este tot o formă de energie, lucrul mecanic şi căldura sunt interschimbabile, dar cantitatea totală de energie dintr-un sistem închis este mereu aceeaşi. Dacă, de exemplu, un cub de gheaţă este aruncat într-un termos cu apă fierbinte şi capacul termosului se închide ermetic, cubul de gheaţă devine mai cald (primeşte energie de la apă), iar apa se răceşte (cedează energie gheţii), dar cantitatea totală de energie din termos rămâne aceeaşi.

Exemplul cubului de gheaţă care se topeşte este foarte potrivit, deoarece ajută la demonstrarea multor caracteristici ale legii a doua a termodinamicii. Mai întâi, căldura trece întotdeauna de la un obiect mai cald la un obiect mai rece, niciodată în sens invers, decât dacă este efectuat lucru mecanic (adică dacă este introdusă energie în sistem) pentru a transfera căldura în sens invers. O sticlă cu apă caldă nu se va transforma de la sine într-un amestec de apă fierbinte şi cuburi de gheaţă, chiar dacă acest lucru nu implică vreo schimbare a energiei totale.

Un frigider casnic este un bun exemplu al modului în care căldura circulă într-o anumită direcţie. Interiorul unui frigider se răceşte deoarece gazul se dilată în partea funcţională: ţevile şi recipientele ermetice din spatele frigiderului. Acest lucru are un efect natural de răcire. Căldura din frigider trece în aerul rece din ţevi, încălzindu-l şi răcind aerul din compartimentul cu alimente. Dar după ce gazul şi-a făcut treaba, trece din spate în afara frigiderului, unde energia (de obicei energia electrică) îl comprimă din nou, chiar până ajunge în stare lichidă. Acest lucru îl înfierbântă, de aceea ţevile din spatele frigiderului sunt calde. Acolo, excesul de căldură este cedat aerului exterior înainte de repetarea întregului ciclu.

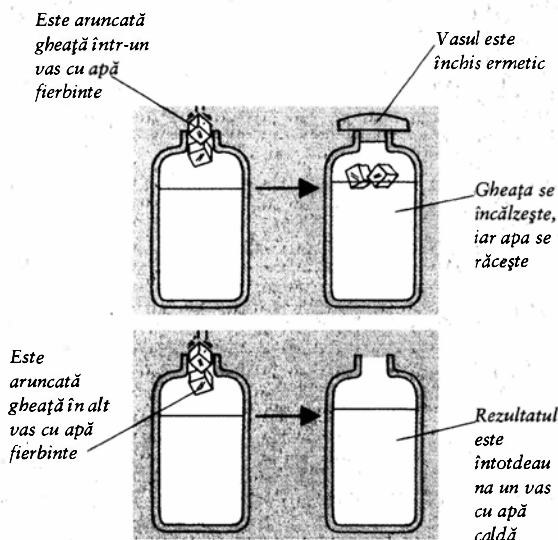
Cantitatea de căldură generată în acest mod este întotdeauna mai mare decât cantitatea de căldură eliminată din compartimentul cu alimente din interiorul frigiderului. Deci, dacă lăsaţi un frigider în funcţiune cu uşa deschisă în interiorul unei camere închise, aerul din cameră se va încălzi, nu se va răci. Efectul de răcire a aerului din interiorul frigiderului este compensat de căldura degajată din ţevile din spate.

TERMODINAMICA

În secolul XIX, fizicienii au fost încurajaţi să studieze mai detaliat acest transfer de căldură de la obiectele calde la obiectele reci, datorită importanţei pe care o avea înţelegerea unui asemenea comportament termodinamic în motoarele cu aburi, care au stat la baza Revoluţiei Industriale. Termodinamica era o ştiinţă mare în acea perioadă, în acelaşi sens important din punct de vedere comercial în care tehnologia microcipurilor (şi apoi fizica cuantică) au devenit ştiinţe mari în ultimul sfert al secolului XX. Aceşti pionieri ai termodinamicii şi-au dat seama că transferul de căldură este legat de altă caracteristică a lumii de zi cu zi: tendinţa de creştere a dezordinii – sau, în limbajul comun, tendinţa lucrurilor de a se consuma. Aceasta este altă manifestare a celei de a doua legi a termodinamicii.

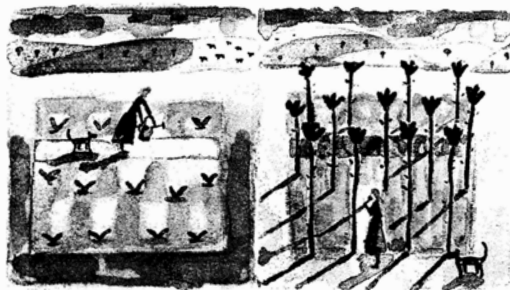
Din nou ne ajută analogia cubului de gheaţă. Când aruncaţi cubul de gheaţă în apă fierbinte, există o anumită cantitate de ordine – un model – în sistem. Există o distincţie între gheaţă şi apă. Dar după topirea gheţii, obţinem un recipient uniform, fără alte caracteristici, cu apă caldă. Modelul a dispărut. Acesta este modul în care se petrec lucrurile în jurul nostru. Dacă o maşină este lăsată în părăsire, va rugini şi va deveni o rablă. Nu este necesar

SISTEM CU EVOLUŢIE ÎNTR-UN SINGUR SENS



SUS **De fiecare dată când priviţi un amestec de gheaţă cu apă, gheaţa se topeşte şi apa se răceşte. Nu veţi vedea niciodată formându-se alte cuburi de gheaţă şi apa înfierbântându-se şi mai tare.**

vreun aport de energie. Acest lucru se întâmplă în mod implacabil. Dar nu puteţi cumpăra o maşină nouă adunând grămadă părţile necesare şi aşteptând ca natura să le asambleze. Singurul mod de a primi maşina asamblată este efectuarea unui lucru mecanic (şi deci un aport de energie) pentru a asambla componentele. Mai mult, procesul de a crea ceva structurat şi ordonat precum o maşină implică mai multă dezordine în alt loc – cum ar fi în minele din care sunt extrase metalele folosite la vehicul.



SUS Fiinţele vii par să încalce a doua lege a termodinamicii. O plantă care creşte la apă şi nutrimente din sol şi dioxid de carbon din aer, apoi creează o structură complicată, ordonată – planta adultă. Dar poate face acest lucru numai pentru că foloseşte energie de la Soare. Cantitatea de ordine creată de planta care creşte este întotdeauna mai mică decât cantitatea de ordine distrusă în interiorul Soarelui pentru crearea luminii care este folosită numai de către plantă.

Sosirea haosului

Acelaşi lucru este adevărat şi în natură. Poate părea că viaţa încalcă această lege, deoarece fiinţele vii iau materiale nestructurate (apă, dioxid de carbon etc.) şi le transformă în structuri elaborate (plante şi animale). Dar toate acestea necesită un aport de energie, iar în final sursa energiei este Soarele. Fizicienii măsoară ordinea (sau mai degrabă dezordinea) folosind o cantitate denumită entropie, care defineşte cât de ordonat este un sistem. Alt mod de a exprima a doua lege a termodinamicii este de a spune că într-un sistem închis, sau în întregul Univers, entropia creşte întotdeauna. Dar Pământul nu este un sistem închis. Este „scăldat" în energia de la Soare. Orice descreştere a entropiei cauzate de activitatea vieţii pe Pământ este compensată de creşterea entropiei care se produce când Soarele revarsă energie în Universul rece, conform celei de a doua legi.

Legea este atât de importantă încât în anii 1920 astrofizicianul Arthur Eddington a sumarizat-o în aceste cuvinte:

Legea conform căreia entropia creşte întotdeauna – a doua lege a termodinamicii – deţine, cred, poziţia supremă printre legile Naturii. Dacă cineva ar încerca să vă atragă atenţia că teoria dumneavoastră favorită despre Univers contrazice ecuaţiile lui Maxwell – atunci cu atât mai rău pentru ecuaţiile lui Maxwell. Dacă se descoperă că este contrazisă de observaţii experimentale – ei bine, aceşti experimentatori chiar încurcă lucrurile uneori. Dar dacă se descoperă că ar contrazice a doua lege a termodinamicii, nu mai aveţi speranţă; nu vă mai rămâne nimic de făcut decât să vă prăbuşiţi în cea mai adâncă umilire.

O parte din motivele pentru care Eddington (şi alţii) erau (şi încă mai sunt) atât de ataşaţi de a doua lege este legătura ei cu înţelegerea sensului timpului şi faptul că are literalmente implicaţii universale. Revenind la cubul de gheaţă din termos, nu există vreo îndoială asupra stării care are loc prima în timp, deşi termosul are tot timpul aceeaşi energie. Starea cu apă fierbinte în care se află cubul de gheaţă este anterioară stării cu apă caldă, fără cub de gheaţă. Şi dacă ne gândim ce se întâmplă la nivelul atomilor şi al moleculelor, autoritatea supremă a legii a doua, chiar şi asupra legilor lui Newton, devine clară.

Imaginaţi-vă o cutie cu un perete care o împarte în două părţi. Într-o parte se află gaz, ai cărui atomi se deplasează de colo-colo conform legilor lui Newton. În cealaltă parte spaţiul este vid. Dacă este îndepărtat peretele despărţitor, gazul se extinde pentru a umple întreaga cutie, răcindu-se în acest timp. Dar oricât aţi sta şi v-aţi uita la cutie, nu veţi vedea gazul adunându-se tot într-o parte a cutiei, astfel ca să puteţi pune la loc peretele şi să separaţi gazul în partea lui. Starea gazului adunat într-o parte a cutiei aparţine trecutului, iar starea gazului care umple întreaga cutie aparţine viitorului, relativ vorbind.

Universul inversat

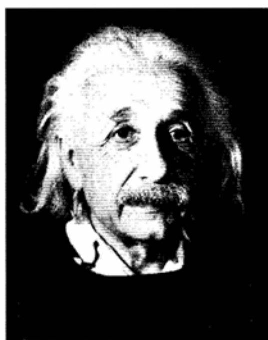
Acest lucru este valabil deşi, conform legilor lui Newton, toate ciocnirile dintre atomii gazului sunt absolut reversibile. Dacă aţi avea un microscop foarte puternic şi aţi putea filma o ciocnire între atomi, aţi putea da filmul înapoi, iar ceea ce aţi vedea ar avea sens. Dar dacă aţi face un film cu cutia ca întreg, în care gazul se extinde pentru a o umple, rularea filmului în sens invers nu ar avea vreun sens.

A doua lege defineşte sensul timpului – viitorul este direcţia în care creşte entropia. Viitorul este şi direcţia în care Universul, care se extinde încă de la Big Bang, devine mai mare. Unii fizicieni s-au întrebat dacă există vreo legătură între acest sens cosmic al timpului şi sensul termodinamic al timpului.

Dacă Universul s-ar fi contractat, oare timpul ar fi curs invers, cu cuburi de gheaţă formându-se spontan în bălţile de apă? Nimeni nu ştie, iar, fiindcă Universul pare să continue să se extindă pentru cel puţin încă o sută de miliarde de ani, nimeni nu trebuie să fie prea preocupat de această problemă.

RELATIVITATEA SPECIALĂ

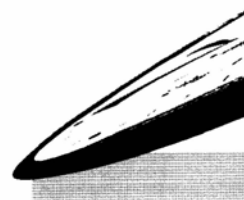
Einstein a descoperit că pentru ca lumina să fie măsurată ca şi număr constant, c, pentru toţi observatorii, vitezele nu se pot aduna în modul în care susţin legile lui Newton că s-ar întâmpla. Se pare că nimic nu se poate deplasa vreodată mai repede decât lumina şi că există o lege a revenirilor diminuate, conform căreia adunarea a două viteze are un efect tot mai mic pentru viteze tot mai apropiate de cea a luminii. La viteza luminii, adunarea unei noi viteze nu are niciun efect, de aceea viteza luminii lanternei din maşina mea este aceeaşi pentru mine, care mă aflu în maşină, dar şi pentru dumneavoastră, de pe marginea drumului. Nu este vorba numai despre faptul că viteza suplimentară a maşinii este prea mică pentru a conta; este literalmente adevărat că $c + 60 = c$.



ALBERT EINSTEIN
1879–1955
Cel mai cunoscut pentru teoriile sale asupra relativităţii, Einstein a fost şi unul dintre fondatorii fizicii cuantice şi prima persoană din timpurile moderne care a sugerat că lumina ar putea exista sub formă de particule. Pentru munca sa din acest domeniu, nu pentru teoriile despre relativitate, a primit premiul Nobel (desigur, ar fi meritat, să primească premiul de două ori).

Teoria prezice că un obiect care se deplasează relativ la un observator va fi mai greu decât este în rest şi că se va micşora în direcţia mişcării sale, în timp ce un ceas aflat în mişcare va funcţiona mai lent decât un ceas identic care este nemişcat relativ la observator. Iar teoria specială a relativităţii este cea care ne dă cea mai faimoasă ecuaţie din ştiinţă, $E = mc^2$. Toate aceste efecte (în afară de $E = mc^2$!) sunt minuscule, exceptând situaţia în care vă deplasaţi cu viteze apropiate de cea a luminii, de aceea ele nu fac parte din experienţa de zi cu zi şi din bunul simţ ştiinţific.

Totuşi, ele au fost testate cu mare acurateţe în experimente, iar rezultatele acelor experimente confirmă cu precizie predicţiile teoriei relativităţii. Modelul lui Einstein despre lume este un foarte bun model ştiinţific, iar pentru toate vitezele care sunt mult mai mici decât c dă exact aceleaşi răspunsuri ca şi legile lui Newton, aşa cum vă ateptaţi. Dar, spre deosebire de legile lui Newton, este complet consistent cu ecuaţiile lui Maxwell.



TIMPUL ELASTIC

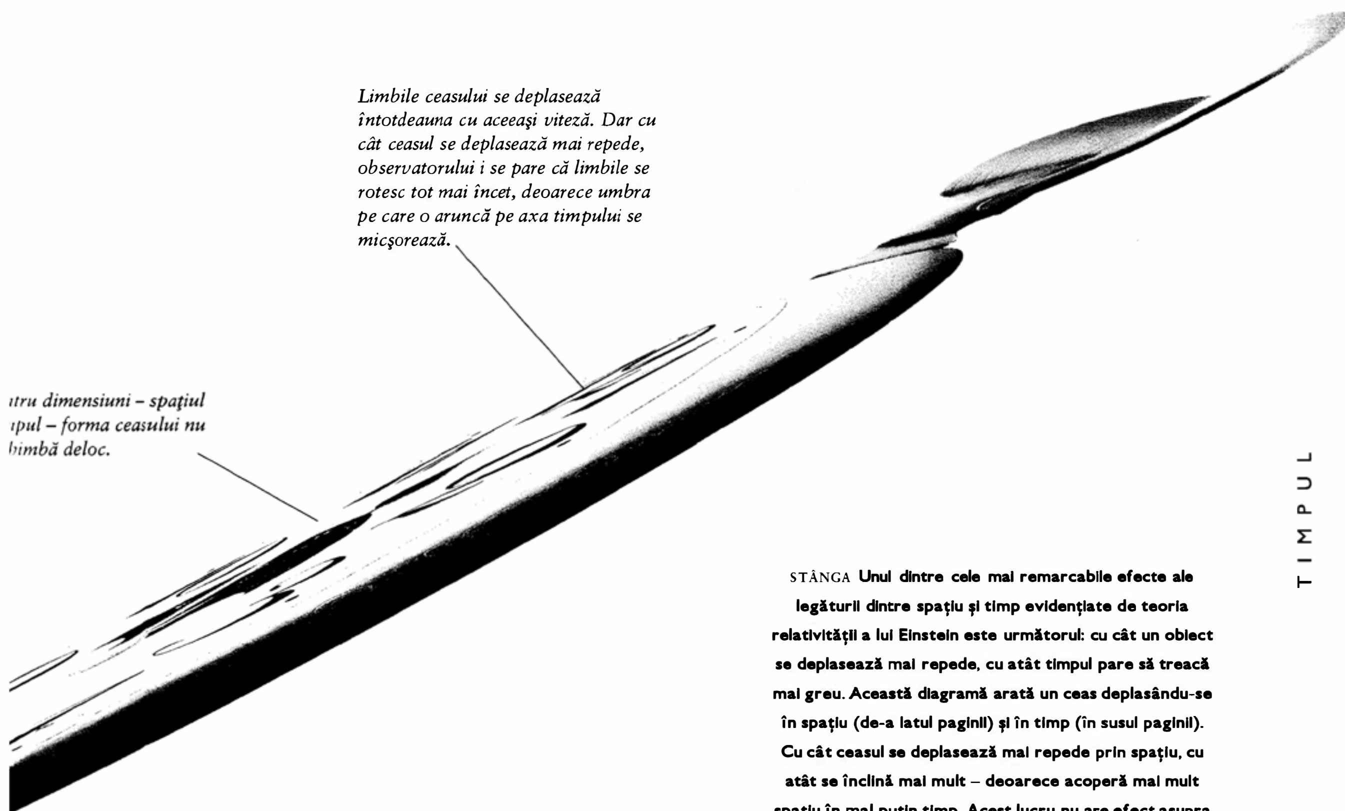
Cel mai bun mod de a vă face o imagine asupra teoriei speciale a relativităţii este să reluaţi imaginea despre spaţiu-timp ca şi continuum cu patru dimensiuni – o idee propusă mai întâi de către Hermann Minkowski în anul 1908.

Această geometrizare a teoriei speciale a relativităţii (care, ar trebui să spunem, este o tratare matematică bine pusă la punct, deşi aici prezentăm numai analogiile fizice) a făcut teoria accessibilă şi altor savanţi, iar lui Einstein i-a adus o reputaţie timpurie. Acest lucru este ironic, deoarece Minkowski a fost unul dintre profesorii lui Einstein când era student la universitate şi l-a descris pe Albert în acel moment ca fiind „un câine leneş" care „nu se omora deloc cu matematica".

Caracteristica teoriei relativităţii care scapă bunului simţ şi o face să fie greu de legat de experienţa de zi cu zi este modul în care obiectele se micşorează când se deplasează şi rămânerea în urmă a ceasurilor aflate în mişcare, astfel că pentru ele timpul se comprimă. Întreţeserea spaţiu-timp care duce la apariţia găurilor negre nu este atât de greu de înţeles deoarece gravitaţia newtoniană, despre care toţi avem idee ce înseamnă, prezice şi ea existenţa obiectelor care au o atracţie gravitaţională atât de puternică, încât nici lumina nu-i poate scăpa. Dar dilataţia timpului şi contracţia spaţiului sunt într-adevăr nişte idei ciudate la prima vedere, fără corespondente evidente în modelul newtonian convenţional.

Imaginea geometrică a lui Minkowski asupra spaţiului şi timpului ne dă o idee asupra a ceea ce se întâmplă. În cele trei dimensiuni ale spaţiului de zi cu zi, un obiect are anumite dimensiuni şi o anumită formă. Dar în funcţie de unghiul din care îl priviţi, puteţi vedea obiectul în mod diferit.

Pentru a nu complica lucrurile, gândiţi-vă la o bielă dreaptă, de o anumită lungime. Dacă o priviţi dintr-o parte, va apărea în lungimea ei completă. Dacă vă uitaţi la ea de la un capăt la altul, va arăta ca un mic disc. La unghiuri intermediare va părea mai scurtă – chiar folosim un termen care include cuvântul „scurtată"



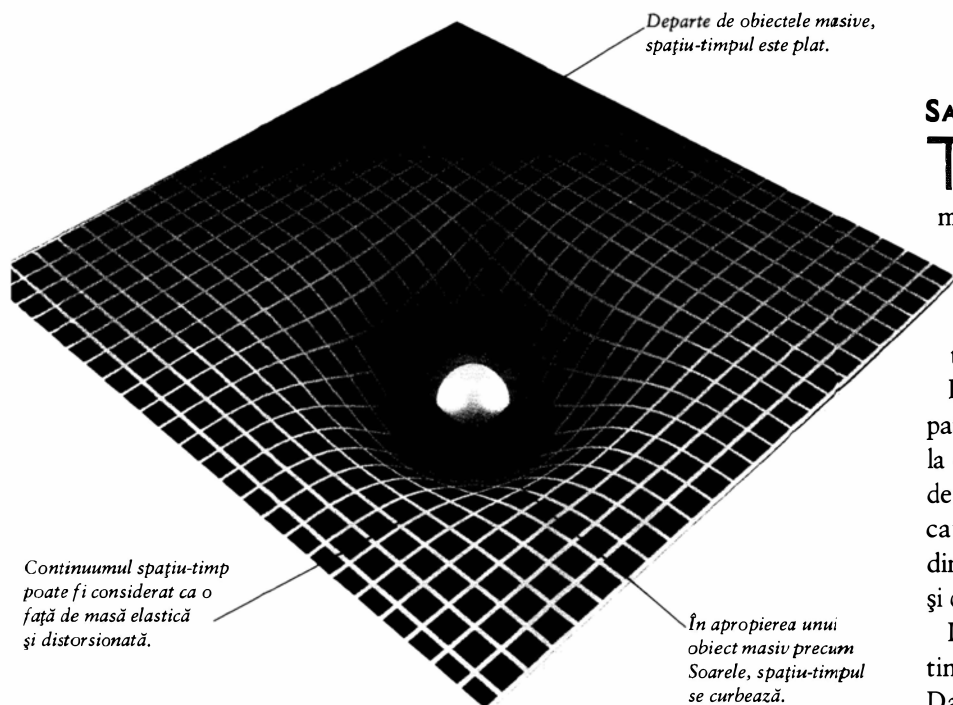
STÂNGA **Unul dintre cele mai remarcabile efecte ale legăturii dintre spaţiu şi timp evidenţiate de teoria relativităţii a lui Einstein este următorul: cu cât un obiect se deplasează mai repede, cu atât timpul pare să treacă mai greu. Această diagramă arată un ceas deplasându-se în spaţiu (de-a latul paginii) şi în timp (în susul paginii). Cu cât ceasul se deplasează mai repede prin spaţiu, cu atât se înclină mai mult – deoarece acoperă mai mult spaţiu în mai puţin timp. Acest lucru nu are efect asupra vitezei cu care se mişcă limbile ceasului. Dar imaginaţi-vă umbrele limbilor ceasului. Cu cât ceasul de deplasează mai repede şi se înclină mai mult, cu atât umbrele limbilor se micşorează pe axa timpului şi se măresc pe axa spaţiului.**

pentru a-l descrie aspectul. Totuşi, în realitate, biela are aceeaşi lungime. Acum să considerăm dimensiunile spaţiului şi timpului reprezentate prin două axe perpendiculare, asemănător unui reper cartezian. Timpul este reprezentat de obicei pe verticală, iar spaţiul pe orizontală, formând un reper numit diagrama spaţiu-timp. În cele patru dimensiuni reale din spaţiu-timp (sau în cele două dimensiuni ale acestui model spaţiu-timp), un obiect are o anumită dimensiune, numită extensie. Aceasta este o proprietate care implică şi spaţiul şi timpul, echivalentă lungimii bielei din spaţiul tridimensional obişnuit.

Puteţi reprezenta această extensie spaţiu-timp a unui obiect plasând un băţ de chibrit în diagrama spaţiu-timp. Băţul de chibrit are mereu aceeaşi lungime. Dar, în funcţie de modul în care băţul de chibrit este rotit în diagramă, lungimea sa, măsurată pe oricare dintre cele două axe, va varia. Când rotiţi băţul de chibrit, „umbra" sa pe axa timpului se măreşte, în timp ce pe axa spaţiului se micşorează. Deplasarea prin spaţiu este echivalentă cu efectuarea unui asemenea tip de rotaţie în cele patru dimensiuni din spaţiu-timp. Partea de spaţiu a extensiei devine mai mică, partea de timp devine proporţional mai mare, iar extensia generală rămâne aceeaşi.

Când un obiect îşi reduce viteza, extensia sa se roteşte invers, reducând componenta de timp şi mărind componenta de spaţiu înapoi la valorile pe care le-au avut când obiectul era nemişcat. Dar, în continuare, extensia – care este lungimea totală în cele patru dimensiuni – rămâne aceeaşi.

Dacă teoria relativităţii ar fi prezis că obiectele care se deplasează îşi reduc dimensiunile dar timpul rămâne acelaşi pentru ele, sau că ceasurile aflate în mişcare rămân în urmă dar forma lor rămâne aceeaşi, am fi spus că că acest lucru este într-adevăr ciudat şi de neînţeles. Totuşi, deoarece cele două proprietăţi se schimbă în sens invers dar cu cantităţi echivalente, teoria relativităţii are sens – în cele patru dimensiuni.



SUS **Continuumul spaţiu-timp este ca reţeaua de forţe imaginată de către Michael Faraday. Liniile sunt drepte dacă nu acţionează nicio forţă gravitaţională, dar orice obiect masiv curbează liniile de forţă. Acest lucru deviază mişcarea tuturor obiectelor care se deplasează prin spaţiu-timp pe traiectorii curbe.**

Gravitaţie şi spaţiu-timp

Teoria specială a relativităţii este „specială“ deoarece este o teorie restrânsă, un caz special al teoriei complete despre modul în care se deplasează obiectele. Motivul este că are de a face numai cu obiecte care se deplasează cu viteze constante. Doar cu zece ani mai târziu, Einstein a reuşit să dezvolte o teorie generalizată a relativităţii, care include toată teoria specială a relativităţii şi se ocupă de comportarea corpurilor accelerate – corpuri a căror viteză se schimbă. Mai mult, teoria generală explică şi natura gravitaţiei, folosind o extensie a ideii de câmp a lui Faraday.

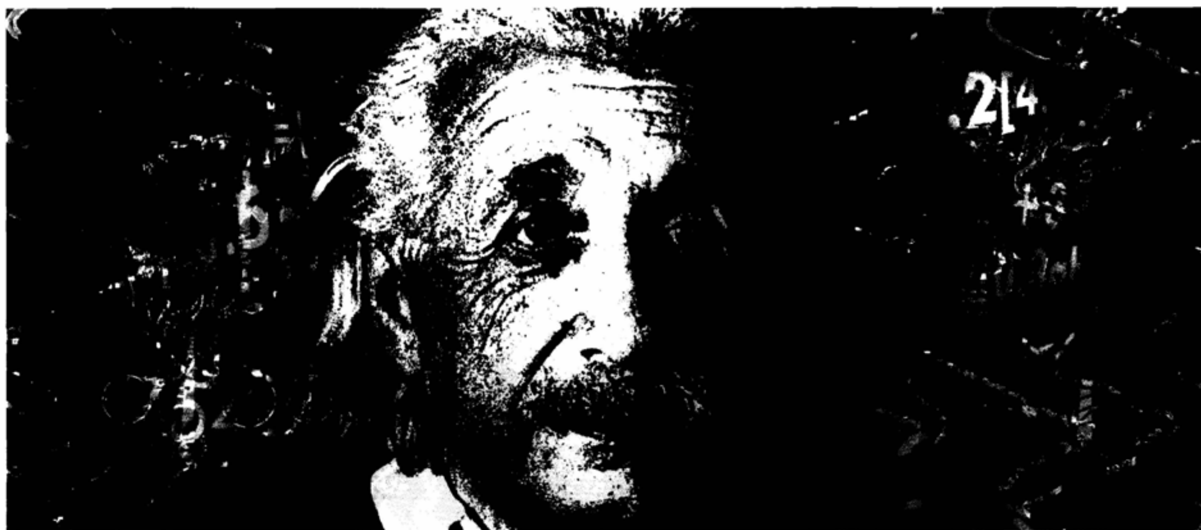
Salteaua cosmică

Teoria relativităţii generalizate implică nişte ecuaţii îngrozitor de complicate (de fapt, ecuaţiile sunt mai degrabă elegante, din punct de vedere matematic; rezolvarea lor este cea îngrozitor de complicată), dar, din fericire, pot fi înţelese din punct de vedere fizic considerând spaţiu-timpul ca fiind un continuum cu patru dimensiuni.

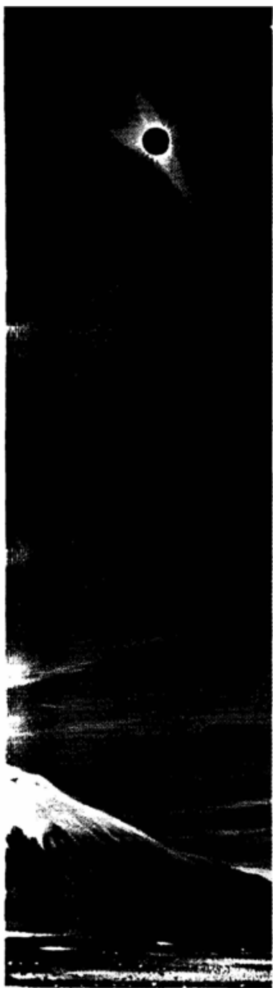
Deoarece oamenilor le este greu să vizualizeze patru dimensiuni, trucul obişnuit este să se gândească la o saltea pentru copii, cum sunt cele din spaţiile de joacă, pe care sar copiii: o foaie întinsă de cauciuc ce reprezintă spaţiu-timpul în două dimensiuni, cu o direcţie a foii corespunzând spaţiului şi cu direcţia perpendiculară reprezentând timpul.

Dacă nu există câmpuri gravitaţionale, spaţiu-timpul este plat, ca suprafaţa întinsă a unei saltele. Dar prezenţa unui obiect precum Soarele este echivalentă cu plasarea unui obiect greu, cum ar fi o bilă de bowling pe saltea, care face în ea o adâncitură. Deci spaţiu-timpul este curbat de prezenţa materiei, iar cu cât materia este mai masivă, cu atât spaţiu-timpul este mai curb.

Într-un spaţiu-timp plat, obiectele se deplasează rectiliniu, ca o bilă care se rostogoleşte pe suprafaţa plată a unei saltele. Dar în spaţiu-timpul curb, obiectele sunt deviate, urmând curbura. Se consideră că gravitaţia funcţionează făcând curburi în spaţiu-timp, astfel că toate obiectele care se deplasează prin spaţiu-timpul curbat urmează traiectorii curbe. Pe scurt, materia este cea care determină modul în care se curbează spaţiu-timpul, iar spaţiu-timpul determină modul în care se mişcă materia.



STÂNGA **Deşi a fost descris de către profesorul său de la universitate ca fiind un om „care nu s-a omorât cu matematica“, Einstein a fost un matematician strălucit, ale cărui teorii revoluţionare au avut o bază solidă, reprezentată de logică matematică irefutabilă.**



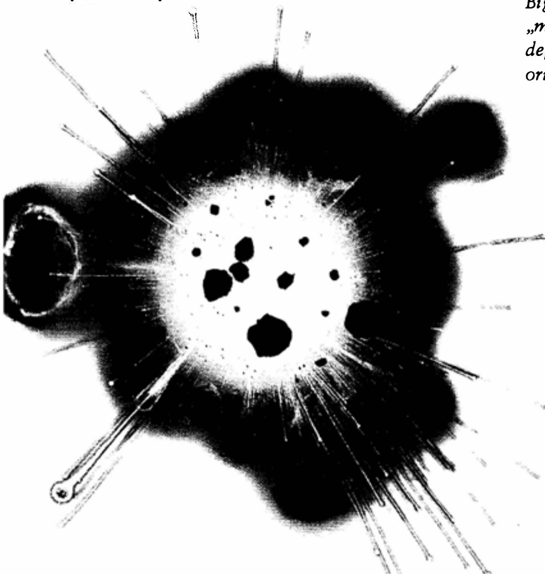
SUS În timpul unei eclipse totale de Soare, cerul este destul de întunecat pentru a vedea stelele care apar în apropierea Soarelui, deşi în realitate se află mult mai departe.

Dovezile experimentale

Teoria lui Einstein a anticipat că, drept rezultat al acestui proces, lumina care trece prin apropierea marginii Soarelui ar fi deviată într-o anumită măsură. În anul 1919, o eclipsă de Soare a dat astronomilor şansa să fotografieze lumina provenind de la stelele îndepărtate trecând pe lângă marginea Soarelui, fără ca strălucirea luminii Soarelui să înceţoşeze plăcile fotografice. Când aceste fotografii au fost comparate cu fotografiile din aceeaşi parte a cerului, făcute cu şase luni mai devreme, când Soarele era pe partea opusă a Pământului, s-a observat că lumina de la stelele îndepărtate era deviată spre Soare, exact în măsura pe care a prezis-o teoria generalizată a lui Einstein.

Acesta a fost experimentul care l-a făcut celebru pe Einstein, stabilindu-i statutul de cel mai mare savant de la Newton încoace. De asemenea, a stabilit că teoria generalizată a relativităţii era cea mai bună teorie asupra gravitaţiei propusă vreodată. Iar cea mai mare realizare a teoriei generalizate este faptul că se aplică întregului Univers, pentru a explica modul în care a început totul, de la Big Bang, cu vreo 14 miliarde de ani în urmă (*vedeţi capitolul 3*).

JOS Imaginea populară a Big Bang-ului este asemănătoare unei explozii în spaţiu. Dar în adevăratul Big Bang, spaţiul însuşi a fost creat în explozie. Nu era nimic „în afară", unde să se producă explozia.





Fiecare observator, aflat oriunde în Univers, pare să se afle în mijlocul unui balon aflat în expansiune. Suntem înconjuraţi de Big Bang.

Big Bang-ul este peste tot la „marginea" Universului, mai departe decât poate vedea orice telescop.

DREAPTA Spaţiul şi timpul au început toate cu Big Bang-ul care a creat Universul, cu vreo 14 miliarde de ani în urmă. Când privim către galaxiile cele mai îndepărtate, aflate la 12 miliarde de ani lumină distanţă, privim de fapt literalmente înapoi în timp, acum 12 miliarde de ani.

FISIUNE ŞI FUZIUNE

Puterea practică a celor două mari teorii ale fizicii secolului XX, teoria relativităţii şi teoria cuantelor, este demonstratată prin succesul lor în explicarea a două procese care funcţionează la scara nucleelor atomice, dar ne afectează viaţa zilnică. Fisiunea nucleară oferă putere bombei atomice şi reactoarelor nucleare, folosite pentru a genera electricitate; fuziunea nucleară oferă energia care face Soarele să strălucească. Aceste procese eliberează energie datorită modului în care este stocată energia în nucleul unui atom. Procesul este explicat de fizica cuantică, iar cantitatea de energie eliberată este indicată de teoria relativităţii.

FUZIUNEA NUCLEARĂ

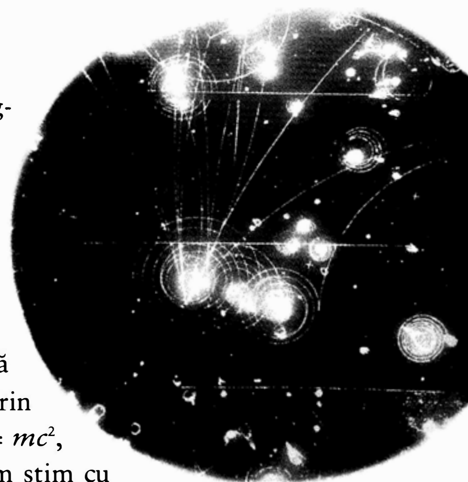
Nucleele atomice sunt alcătuite din protoni şi neutroni. Cel mai simplu atom, hidrogenul, are un nucleu alcătuit dintr-un singur proton. Cea mai comună formă a următorului element ca greutate, heliul, are un nucleu care conţine doi protoni şi doi neutroni. În toate celelalte cazuri, nucleele stabile conţin cel puţin tot atâţia neutroni ca şi protoni, deoarece sunt necesari la menţinerea integrităţii nucleului, în ciuda tendinţei sarcinii pozitive a protonilor de a-l descompune.

Dar, deşi un nucleu de heliu conţine doi protoni şi doi neutroni, masa lui nu este aceeaşi cu masele adunate a doi protoni izolaţi şi doi neutroni izolaţi. Când particulele primordiale se combină pentru a forma nucleele de heliu (ceea ce s-a întâmplat în Big Bang şi încă se întâmplă în interiorul unor stele precum Soarele de azi), unele dintre masele implicate (0,7 la sută din masa nucleului de heliu) sunt transformate în energie, mai ales sub formă de radiaţie electromagnetică. Acest proces este fuziunea nucleară şi se produce tocmai deoarece nucleele mai grele (în acest caz, heliul) înmagazinează mai puţină energie decât cele mai uşoare, deci sunt mai stabile.

Cantitatea de energie E eliberată prin conversia masei m este dată prin faimoasa ecuaţie a lui Einstein $E = mc^2$, unde c este viteza luminii. Aşa cum ştim cu toţii, c este un număr imens de mare – 300000 km pe secundă – deci rezultă o mare cantitate de energie E pentru o masă foarte mică m. Diferenţa de masă dintre nucleele de hidrogen şi heliu poate fi măsurată, iar energia eliberată poate fi şi ea măsurată, confirmând corectitudinea acestei ecuaţii. Acest proces de fuziune a hidrogenului în heliu (prin nişte paşi intermediari care convertesc unii protoni în neutroni) face Soarele să strălucească.



SUS **Energia unei bombe cu hidrogen care explodează este eliberată prin fuziune nucleară. Reacţia este declanşată de un dispozitiv de fisiune nucleară, care re-creează condiţiile extreme din interiorul Soarelui.**



SUS **Cunoştinţele noastre despre particulele subatomice au fost îmbunătăţite dramatic datorită invenţiei fizicianului american Don Glaser, camera cu bule, în anul 1952. Când particulele încărcate electric sunt lansate în hidrogenul lichid din cameră, lasă o dâră de bule care le marchează clar calea pe o fotografie. Câmpul magnetic din jurul camerei curbează protonii încărcaţi pozitiv într-o direcţie, iar pe cei încărcaţi negativ în direcţia opusă. Studiind traiectoriile din camerele cu bule, fizicienii au învăţat foarte multe despre modul în care interacţionează particulele subatomice.**

FORJAREA FIERULUI

Până la un punct, nucleele mai mari, ale elementelor mai grele, sunt şi mai eficiente din punctul de vedere al înmagazinării energiei decât heliul; adică au nevoie de proporţional mai puţină energie pentru a se menţine unite. Protonii şi neutronii sunt denumite colectiv nucleoni, iar energia stocată de fiecare nucleon devine progresiv mai mică până la fer-56, care are 56 de nucleoni (26 de protoni şi 30 de neutroni) în fiecare nucleu atomic. Nucleul de fer oferă cel mai eficient mod, din punct de vedere energetic, de a ţine nucleonii laolaltă, iar din acest motiv, stadiile succesive ale fuziunii nucleare din interiorul stelelor formează toate elementele de la hidrogen şi heliu la fer.

ELEMENTELE GRELE

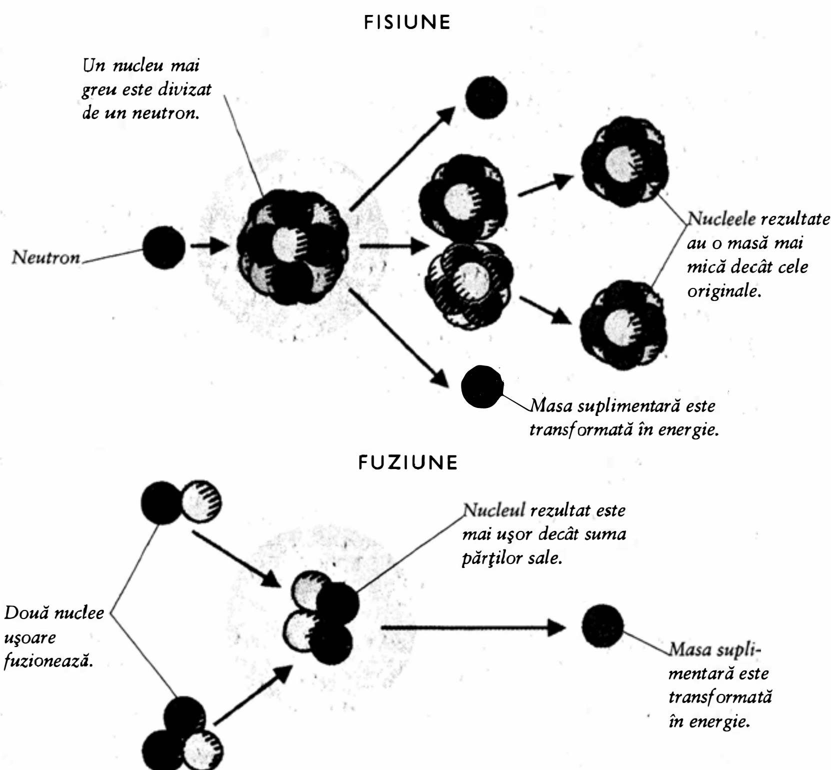
Nucleele cu mai mulţi nucleoni decât ferul-56 înmagazinează nucleonii mai puţin eficient decât ferul. Acest lucru se întâmplă în principiu deoarece respingerea reciprocă dintre toţi protonii individuali începe să devină o problemă dificilă pentru acele nuclee. Pentru a ţine laolaltă asemenea nuclee, este necesar un aport de energie, care să transforme o parte din energia *E* înapoi în masă *m*. Acest lucru se întâmplă în cursul morţii explozive a stelelor numite supernove, prin care se formează elementele mai grele, ca staniul, aurul, plumbul şi uraniul, care apoi sunt împrăştiate în spaţiu împreună cu amestecul de elemente formate anterior de către stea. Acest amestec de praf stelar duce la formarea planetelor ca Pământul şi a oamenilor ca noi.

Efectul general al modului în care diferă cantitatea de energie per nucleon de la un nucleu la altul este similar situaţiei în care diferitele elemente ar sta pe mici etajere pe malurile unei văi a stabilităţii, cu ferul pe fundul văii. Elementele mai uşoare, până la hidrogen, sunt aşezate pe un mal al văii; elementele mai grele sunt pe celălalt mal. În condiţiile potrivite, elementelor mai uşoare li se poate da un impuls care le încurajează să se mute mai jos, spre etajerele din fundul văii, formând nuclee mai mari prin fuziune. Pe celălalt mal al văii, elementele mai grele pot fi încurajate să se mute mai jos, pe etajerele dinspre fundul văii prin procesul invers, fisiunea, divizând nucleele pentru a forma elemente mai uşoare. În anumite cazuri, nucleele grele sunt instabile şi se descompun spontan. În alte cazuri, se descompun dacă sunt bombardate de un neutron rătăcit sau de altă particulă.

FISIUNEA NUCLEARĂ

Fisiunea este procesul folosit cu succes în toate reactoarele nucleare actuale şi în bomba atomică (de fapt, o bombă nucleară). Energia eliberată azi prin fisiune este aportul de energie care a fost folosit la crearea acestor elemente grele cu mult timp în urmă; este literalmente energia înmagazinată a unei supernove. Într-o bombă, energia înmagazinată într-un element greu şi instabil, ca uraniul-235 (al cărui nucleu conţine 92 de protoni şi 143 de neutroni) este eliberată în mod exploziv după declanşarea reacţiei. Motivul este că fiecare nucleu care se divide eliberează mai mulţi neutroni, iar fiecare dintre ei declanşează divizarea mai multor nuclee. Într-un reactor electric procesul este controlat prin folosirea materialului care captează cei mai mulţi neutroni, astfel ca în medie fiecare nucleu care se divide să declanşeze fisiunea numai a unui alt nucleu. Ambele procese sunt exemple de reacţii în lanţ.

Fuziunea este procesul care într-o zi ar putea oferi o sursă aproape nelimitată de energie pe Pământ, producând la fel de multă energie ca şi stelele. Problema este că, pentru a determina nucleele încărcate pozitiv (cum sunt cele de hidrogen) să fuzioneze, trebuie comprimate împreună cu destulă forţă pentru a depăşi forţele lor de respingere (exact fenomenul care facilitează fisiunea elementelor grele) şi a permite forţelor nucleare mai puternice (marcate cu culoare în imagine) să le ia locul. Aceasta înseamnă re-crearea condiţiilor din interiorul unei stele în reactoarele de pe Pământ. Nu este de mirare, deci, că unii oameni cred că este mai logic să încerce să capteze rezerva de energie chiar din reactorul de fisiune testat şi verificat al naturii, Soarele însuşi.



SUS Şi din fisiunea nucleară şi din fuziunea nucleară rezultă o pierdere netă de masă nucleară. Masa lipsă este transformată în energie, conform ecuaţiei lui Einstein, în care energia este egală cu masa înmulţită cu viteza luminii la pătrat.



CALD



FIERBINTE



FIERBINTE ROŞU



FIERBINTE ALB

SUS **Când un obiect se înfierbântă, emite mai întâi radiaţii roşii, apoi albe. Dar fizica clasică susţine că acest lucru este imposibil – ar trebui ca radiaţia să aibă mereu aceeaşi culoare. Intuiţia strălucită a lui Max Planck a fost să explice culoarea luminii în termeni de mici pachete de cuante de energie.**

TEORIA CUANTELOR

Până când teoria generalizată a relativităţii a înlocuit teoria lui Newton pe post de cea mai bună teorie asupra gravitaţiei pe care o avem, cei mai mulţi fizicieni erau mai preocupaţi de ceea ce se întâmpla la celălalt capăt al scalei dimensiunilor, în lumea dimensiunilor foarte mici. Pe măsură ce începeau să studieze structura atomilor, la sfârşitul secolului XIX, găseau tot mai multe exemple de comportament care nu respecta legile lui Newton. Aceasta a condus la cealaltă mare teorie a fizicii secolului XX, teoria cuantelor. Teoria cuantelor este una dintre cele mai uimitoare cuceriri ştiinţifice ale tuturor timpurilor şi răstoarnă complet noţiunile de cauză şi efect. Încă o dată, o teorie a fost creată pornind de la un mister legat de natura luminii.

PARTICULE DE LUMINĂ

Primul pas a fost făcut de fizicianul german Max Planck, chiar la sfârşitul secolului XIX. Ca mulţi dintre colegii săi, era intrigat de modul în care obiectele fierbinţi radiau lumina. Ştim cu toţii că un obiect cald radiază căldură, dar nu străluceşte, însă un obiect mai fierbinte radiază căldură roşie, iar un obiect şi mai fierbinte radiază căldură albă şi aşa mai departe. În termeni de lungimi de undă, obiectele mai fierbinţi radiază mai multă lumină, cu lungimi de undă mai mici. Dar teoria clasică (adică orice teorie de dinaintea celei cuantice; chiar şi teoria generalizată a relativităţii este o teorie clasică) spune că toată energia dintr-un obiect fierbinte ar trebui eliberată printr-o emisie de lumină cu lungime mică de undă, orice temperatură ar avea.

Planck a descoperit că ar putea explica natura radiaţiei emise de un obiect (numită radiaţia corpului negru, deoarece este radiaţia obţinută prin încălzirea unui obiect perfect negru) dacă ar presupune că atomii din interiorul obiectului radiază lumină numai în pachete de anumite dimensiuni, pe care le-a numit cuante (un singur pachet este numit cuantă). Lumina cu lungime de undă mică poartă o mare cantitate de energie în fiecare pachet, iar atomii individuali nu au destulă energie pentru a produce cuante atât de mari la temperaturi mai scăzute. Acest lucru explică de ce nu pot, până la urmă, să elibereze toată energia în modul în care anticipează teoria clasică.

Dar Planck nu a sugerat că lumina există numai sub formă de cuante, mici particule de lumină. El credea că motivul pentru care corpurile negre radiază astfel are legătură cu natura atomilor, nu cu natura luminii. Albert Einstein a fost cel care, încă o dată, s-a demarcat total de tradiţie – în anul 1905, în acelaşi an în care a publicat remarcabila sa teorie specială a relativităţii.



MAX PLANCK
1858–1947
Primul fizician care a folosit ideea cuantelor de lumină pentru a explica natura radiaţiei electromagnetice a obiectelor fierbinţi. Articolul său inovator, de mare acurateţe, a fost publicat în anul 1900, chiar la începutul secolului XX.



Coregrafilor nu le va plăcea mereu acest lucru, dar indivizii umani au liber arbitru. Suntem cu toţii liberi să facem greşeli, sau să ne urmăm propriile capricii în privinţa vestimentaţiei. Unii fizicieni cred că liberul arbitru îşi are rădăcinile în teoria incertitudinii, nglobată şi în legile mecanicii cuantice.



Coregraful doreşte ca toate dansatoarele să arate la fel.

ate că nu este foarte lentată, dar această nsatoare ştie foarte bine culoare doreşte să aibă rul ei.

Unii oameni nu poartă ceea ce li se spune. Ei îşi exercită liberul arbitru.

Coregraful doreşte ca toate dansatoarele să arate la fel.

PRINCIPIUL INCERTITUDINII

Una dintre cele mai importante caracteristici ale lumii cuantelor este şi una dintre cele mai neînţelese.

În anii 1920, Werner Heisenberg a formulat principiul incertitudinii, care susţine că o entitate cuantică (precum un electron) nu are o poziţie precisă şi o viteză precisă în acelaşi moment. La orice moment dat, electronul însuşi nu „ştie" exact şi unde este şi în ce direcţie se îndreaptă. Acest lucru are legătură cu ideea dualităţii undă-particulă – evident, o undă nu există „într-un punct" în modul în care poate exista o particulă. Această incertitudine este intrinsecă naturii realităţii cuantice, de fapt toată mecanica cuantică poate fi construită din principiul incertitudinii al lui Heisenberg. Din păcate, multe manuale, chiar de nivel universitar, susţin că incertitudinea este un rezultat al limitărilor noastre umane şi că de fapt experimentele noastre nu pot face măsurători destul de precise. Nu este adevărat! Incertitudinea este o caracteristică reală a lumii cuantice, iar acest lucru face lumea cuantică să funcţioneze conform legilor probabilităţii.

Deşi poate nu vă place, va trebui să credeţi. Dacă lumea ar funcţiona în strictă conformitate cu legile lui Newton, precum rotiţele unui ceas, atunci totul, până la cea mai neînsemnată interacţiune între două particule, ar fi determinat în avans. Nu ar mai fi loc pentru liberul arbitru. Tocmai incertitudinea cuantică ne oferă şansa de a ne conduce propriile vieţi şi de a lua decizii, nu de a urma un plan preexistent.

EFECTUL FOTOELECTRIC

Einstein era intrigat de ceva timp de efectul fotoelectric, un proces în care energia provenită de la un fascicul de lumină proiectat pe o suprafaţă metalică eliberează electronii din metal. Multe experimente au arătat că pentru lumina de o anumită culoare – adică de o anume lungime de undă – toţi electronii eliberaţi în acest mod au aceeaşi energie, indiferent de puterea fasciculului.

Aţi putea crede că, în cazul unui fascicul luminos mai slab, electronii ar avea mai puţină energie. Dar nu au. Dacă fasciculul luminos este mai slab, sunt eliberaţi mai puţini electroni din metal, dar şi aceia au aceeaşi energie ca şi electronii produşi când fluxul de lumină este mai puternic. Totuşi, energia electronilor eliberaţi de lumina albastră este întotdeauna mai mare decât energia electronilor eliberaţi de lumina roşie. Undele cu lungime mai mică sunt purtătoare ale unor cantităţi mai mici de energie.

Explicaţia lui Einstein a fost că lumina chiar există sub forma unor mici particule, numite acum fotoni. Toţi fotonii din lumina albastră au o anumită energie. Un electron este eliberat dintr-un atom prin impactul cu un singur foton, astfel încât poartă întotdeauna aceeaşi cantitate de energie. Dacă fasciculul este slab, pur şi simplu conţine mai puţini fotoni. Acelaşi lucru este adevărat despre lumina roşie, numai că fiecare foton de lumină roşie are mai puţină energie decât un foton de lumină albastră.

Sugestia lui Einstein nu a fost primită favorabil în anul 1905. Venea împotriva unui secol de dovezi, aparent convingătoare, că lumina se deplasează sub formă de unde, aşa cum sugerase la început Huygens, nu sub formă de particule, aşa cum sugerase Newton cam în aceeaşi perioadă. Robert Millikan, un fizician american, a fost atât de deranjat de ideea lui Einstein, încât a petrecut zece ani încercând să demonstreze că Einstein a greşit, efectuând o serie de experimente cu acurateţe tot mai mare. El a reuşit numai să arate că, în mod uimitor, Einstein avusese absolută dreptate şi că fotonii – micile particule de lumină – chiar există. Datorită rezultatelor muncii sale, terminată în anul 1915, Einstein a primit premiul Nobel în anul 1922; Millikan a primit şi el premiul în anul 1923.

LINIILE CARE SPUN TOTUL

Natura luminii radiate (sau absorbite) de atomi depinde de legile fizicii cuantice. Studiul luminii radiate de către atomi – spectroscopia – a ajutat la înţelegerea acestor legi ale cuanticii, iar înţelegerea legilor cuanticii ajută fizicienii să construiască modele matematice ale funcţionării atomului. Şi deoarece fiecare tip de atom (fiecare element) are propria amprentă spectrală, fizicienii pot folosi spectroscopia pentru a stabili compoziţia materialelor, atât a celor studiate în laborator, cât şi a stelelor.

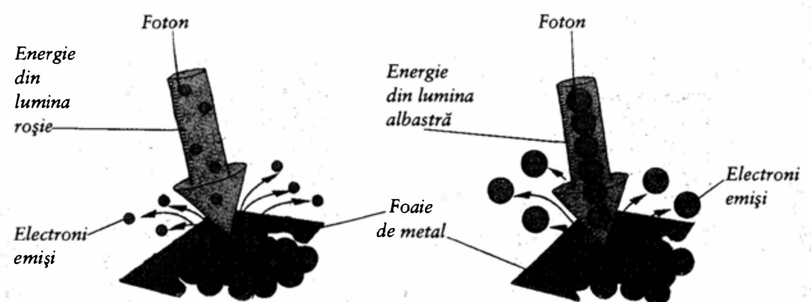
Modul în care lumina este emisă sau absorbită de un atom depinde de modul în care electronii sunt aranjaţi în partea exterioară a atomului. Acesta este un subiect complex, dar pentru scopurile noastre putem folosi modelul simplu dezvoltat de către Niels Bohr, în care electronii sunt consideraţi mici particule aflate în mişcare pe orbite în jurul nucleului atomului.

SALTURI CUANTICE

Când un atom emite sau absoarbe lumină, o face prin pachete de energie de o anumită dimensiune – fotonii. Absorbirea unui foton oferă unui electron energia de a trece de pe orbita sa din apropierea nucleului pe o orbită mai îndepărtată de nucleu. Când şi dacă electronul trece înapoi pe vechea sa orbită, emite un foton care are aceeaşi energie: energia corespunzătoare spaţiului dintre orbite.

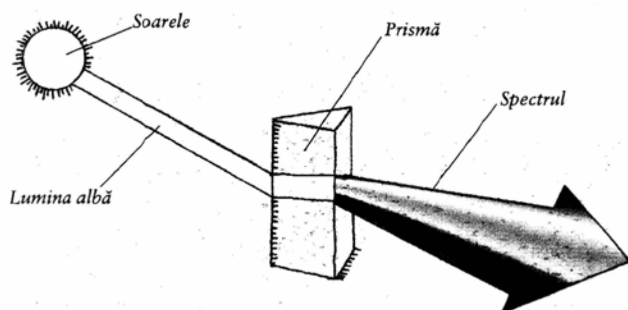
Lucrul important de reţinut este că nu există o stare intermediară, deoarece electronul nu poate emite sau absorbi o fracţiune de foton. La început se află pe o orbită (sau pe un nivel energetic), apoi pe altul, instantaneu. Alt lucru important este că energia unui foton este în strânsă legătură cu lungimea sa de undă, deci un

EFECTUL FOTOELECTRIC



SUS **Fiecare foton dintr-un fascicul de lumină eliberează un electron din folia metalică. Dacă fiecare foton ar avea mai multă energie, fiecare electron ar avea mai multă energie. Dar, oricâtă energie ar avea un foton, eliberează numai un electron din metal.**

Unde electromagnetice



SUS **Lumina este formată din mici pachete de energie numite fotoni, fiecare emis de un atom. Ca orice tip de lumină, lumina albă a Soarelui poate fi descompusă de o prismă în culorile curcubeului, de la roşu la violet – şi toate aceste culori sunt de fapt fotoni cu diferite energii.**

foton cu o energie precis determinată corespunde luminii cu lungime de undă sau culoare precis definite.

Întregul spectru vizibil al curcubeului conţine roşu, apoi oranj, galben, verde, albastru şi indigo, apoi violet. Într-adevăr, spectrul se extinde dincolo de limitele vizibile şi către lungimi mai mari de undă (dincolo de roşu) şi către lungimi mai mici de undă (dincolo de violet).

Fiecare lungime de undă diferită din spectru corespunde unei anumite energii emise de un atom în timp ce electronii sar de la o orbită la alta, căzând pe un nivel energetic inferior.

Dacă un atom emite lumină cu o anume lungime de undă, în spectru apare o linie strălucitoare, bine definită. Dacă absoarbe lumină, apare o linie întunecată. Deoarece aranjarea electronilor din atomi este diferită în fiecare element, modelul de linii făcute de electronul care trece de la un nivel la altul este diferit la fiecare element. Acesta este motivul pentru care astronomii pot privi lumina unei stele îndepărtate, îi pot crea spectrul folosind o prismă şi pot afla din ce elemente este alcătuită steaua.

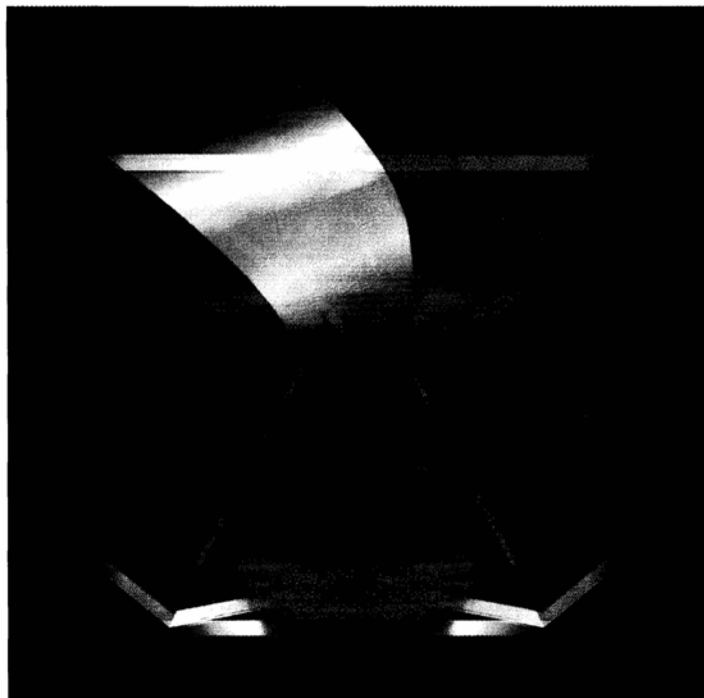


ROBERT MILLIKAN
1868–1953
Millikan a făcut măsurători extrem de precise ale dimensiunii sarcinii electronului, a demonstrat că teoria fotonilor a lui Einstein este corectă (deşi nu asta intenţiona) şi a determinat valoarea constantei lui Planck.

Liniile spectrale ale lui Fraunhofer

Descoperirile care au făcut ca spectroscopia să devină un instrument atât de puternic au fost făcute de fizicianul german Josef von Fraunhofer în anul 1814. El era de fapt interesat de proprietăţile sticlei şi a făcut experimente cu lumina care trece prin prisme pentru a studia sticla. A folosit lumina Soarelui, care era considerată pură şi clară, dar, în ciuda acestei concepţii, el a observat multe linii întunecate în spectrul produs de fiecare prismă.

La sfârşitul anilor 1860, studierea spectrului luminii solare a pus în evidenţă (împreună cu un set de urme ale multor elemente cunoscute) un set de linii care nu corespundeau vreunui element cunoscut pe Pământ. Astronomul britanic Norman Lockyer a spus că trebuie să aparţină unui nou element, pe care l-a botezat heliu, de la cuvântul grecesc care denumea Soarele. Heliul a fost în cele din urmă identificat şi pe Pământ în anul 1895 şi s-a descoperit că are exact proprietăţile necesare pentru a explica liniile solare.



SUS **Obţinem culori deoarece fiecare tip de atom emite fotoni de o anumită energie. Lumina albă este un amestec de diferite tipuri de fotoni cu diferite energii. Dar după trecerea luminii albe printr-o prismă, toate culorile pe care le conţine pot fi separate într-un spectru, un curcubeu de culori. Deoarece culoarea se comportă ca un fel de etichetă de identitate pentru atomii din sursa originală de lumină, ne putem da seama din ce fel de atomi este alcătuită sursa de lumină – dacă este o lumină electrică sau o stea îndepărtată. Aceasta este baza ştiinţei numite spectroscopie.**

DUALITATEA UNDĂ-PARTICULĂ

Până când Einstein a primit premiul Nobel, a devenit clar că, deşi lumina se poate deplasa sub formă de undă, ea interacţionează – sau ajunge la destinaţie – ca particulă. Are şi proprietăţile undelor şi ale particulelor. Mai mult, experimentele cu electroni au arătat în curând că, deşi fuseseră consideraţi particule, ei interferează unii cu ceilalţi în experimente echivalente cu experimentul cu două fante al lui Young. Deci şi electronii au proprietăţi de particule şi de unde la un loc. La sfârşitul anilor 1920, această idee a dualităţii undă-particulă devenise baza unei teorii complete a lumii subatomice şi atomice, teorie denumită fizică cuantică.

Arhitectul-şef al teoriei, sub forma în care a fost explicată de obicei de atunci, a fost fizicianul danez Niels Bohr. Această versiune a teoriei este adesea denumită „interpretarea din Copenhaga" a fizicii cuantice, în onoarea lui Bohr, deşi interpretarea avea ca sursă munca austriacului Erwin Schrödinger, a germanilor Werner Heisenberg şi Max Born şi a englezului Paul Dirac. Ea evidenţiază cu certitudine ciudăţeniile lumii cuantice şi, chiar dacă pare greu de acceptat, ca şi teoria generalizată a relativităţii, a trecut toate testele experimentale.

PARTICULELE CARE SE DIZOLVĂ

Interpretarea din Copenhaga spune că entităţile cuantice, ca fotonii şi electronii, interacţionează conform legilor probabilităţilor şi există numai sub forma a ceea ce am considera ca fiind particule reale la momentul în care sunt observate.

Cea mai simplă cale de a ne imagina acest lucru este să considerăm un foton sau un electron supus familiarului experiment cu două fante. În lumea cotidiană, ne-am aştepta ca „particula" să treacă prin una dintre fante. Dar, conform interpretării din Copenhaga, o „undă de probabilitate" asociată cu entitatea cuantică trece simultan prin ambele fante şi interferează cu ea însăşi. Rezultatul acelei interferenţe decide unde va apărea „particula" însăşi pe cealaltă parte a ecranului. Este ca şi cum particula s-ar dizolva într-o undă (denumită „funcţia undă"), apoi unda s-ar transforma înapoi în particulă când aţi încerca să-i determinaţi poziţia prin măsurare. Dar imediat ce încetaţi să o studiaţi, particula începe din nou să se propage sub formă de undă.

Ideea că lumea este condusă de probabilităţi l-a determinat pe Einstein să se delimiteze de teoria cuantică, la formarea căreia ajutase, şi să spună „Nu pot crede că Dumnezeu joacă zaruri". Dar toate experimentele au arătat că probabilităţile chiar guvernează lumea cuantică. Din fericire, totuşi, la fel cum teoria relativităţii se reduce la legile lui Newton în cazul vitezelor reduse, la fel şi teoria cuantică se reduce la legile lui Newton pentru toate corpurile mult mai mari decât atomii. Acesta este motivul pentru care corpurile precum bilele de biliard sunt obiecte solide care rămân într-un singur loc şi nu se dizolvă în unde de probabilitate atunci când vă întoarceţi cu spatele la ele.

Mulţi fizicieni consideră că acest set de idei este dezgustător şi au căutat timp de decenii un mod de a-l evita. Până acum nu au reuşit, deşi există variate interpretări ale fizicii cuantice care dau exact aceleaşi răspunsuri ca şi interpretarea din Copenhaga.

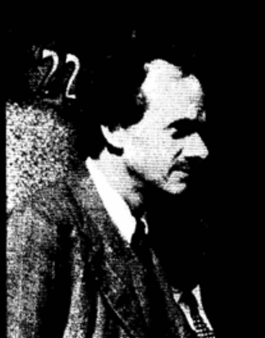


NIELS BOHR
1885–1962
Foarte pragmatic, Bohr nu s-a preocupat prea mult privind semnificaţia teoriei cuantice, câtă vreme putea găsi legile care o făceau să funcţioneze – în sensul de a anticipa lucrurile care puteau fi testate prin experimente. El a dezvoltat primul model cuantic de succes al atomului.



SUS **Saltul cuantic este o tranziţie instantanee dintr-o stare în alta. Nu există nimic intermediar. Dacă un iepure s-ar deplasa ca o entitate cuantică, ar dispărea dintr-un loc şi ar reapărea instantaneu în alt loc, fără a trece vreun timp ca să facă saltul.**

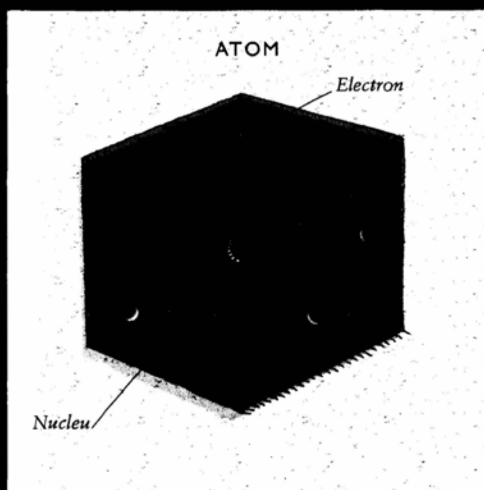




PAUL DIRAC

1902–1984

Personalitate retrasă a fizicii cuantice, Dirac a demonstrat că teoria corpusculară a lui Werner Heisenberg și teoria ondulatorie a lui Erwin Schrödinger erau matematic echivalente. Lumea cuantică este formată din particule și unde în același timp.



SUS Electronii din atomi se comportă precum iepurii cuantici. Un electron aflat pe o orbită poate dispărea și apoi reapărea pe altă orbită. Când face asta, un foton având exact energia corespunzătoare diferenței dintre cele două orbite este absorbit sau emis, producând o linie în spectru.

În interiorul atomului

Cel mai mare triumf al fizicii cuantice s-a produs în anii 1940, când a fost aplicată pentru a explica modul în care lumina (și toate radiațiile electromagnetice) interacționează cu particulele încărcate. Această teorie a electrodinamicii cuantice explică interacțiunea dintre materie și lumină în termeni cuantici, la fel cum ecuațiile lui Maxwell explicau totul despre lumină în termeni clasici. Mai mult, fizicienii au descoperit că poate fi folosită pentru a descrie modul în care particulele interacționează la scale mult mai mici decât cea a atomului.

Structura atomului însuși a fost descoperită de la începutul secolului XX, în mare parte datorită lucrărilor experimentale ale neo-zeelandezului Ernest Rutherford (care pe atunci locuia în Anglia) și ale colegilor lui. Niels Bohr a fost cel care, în a doua decadă a secolului, a interpretat dovezile experimentale pentru a crea imaginea familiară a atomului: un mic nucleu central, având o sarcină electrică pozitivă, înconjurat de niște electroni chiar mai mici (fiecare având o sarcină negativă), cumva orbitând în jurul nucleului. De fapt, este nevoie de fizica cuantică pentru a explica modul în care electronii formează un nor în jurul nucleului și de ce nu se prăbușesc în nucleu. Cel mai mare atom are diametrul de 0,0000005 mm, dar dimensiunea nucleului față de dimensiunea norului electronic poate fi comparată cu dimensiunea unei mingi de golf aflate în centrul unui stadion de fotbal.

Electronii, protonii și neutronii

Nucleele atomilor conțin și particule încărcate pozitiv, numite protoni, și particule neutre, numite neutroni (exceptând nucleul celui mai ușor și mai simplu atom, hidrogenul, care conține numai un proton). Diferența dintre elemente este în principiu numărul de protoni din nucleul atomic – deci, de exemplu, un atom de platină are 78 de protoni, dar adăugați încă unul și obțineți aurul, cu 79 de protoni.

Numărul electronilor încărcați negativ din norul aflat în jurul unui nucleu este același cu numărul protonilor din nucleu, deci sarcinile electrice se anulează și toți atomii sunt neutri din punct de vedere electric. Numărul protonilor determină numărul electronilor, iar electronii și aranjarea lor în nor determină modul în care interacționează atomul cu alți atomi, adică proprietățile sale chimice. Dar nucleul este acela care determină masa unui atom. Protonii și neutronii au aproximativ mase egale, fiecare cam de 2000 de ori mai mari decât cea a unui electron.

Rutherford a demonstrat inițial structura atomilor bombardându-i cu particule alfa. Particulele alfa apar atunci când atomii instabili (radioactivi) îi elimină din nuclee. Când echipa lui Rutherford a bombardat cu particule alfa o foiță subțire de aur, a descoperit că în timp ce cele mai multe particule treceau fără a fi afectate de atomii de aur, unele păreau să lovească ceva solid și se întorceau. Aceste studii au arătat că atomii conțin mai mult spații libere, având masa concentrată într-un mic nucleu central.

CUARCII ŞI GLUONII

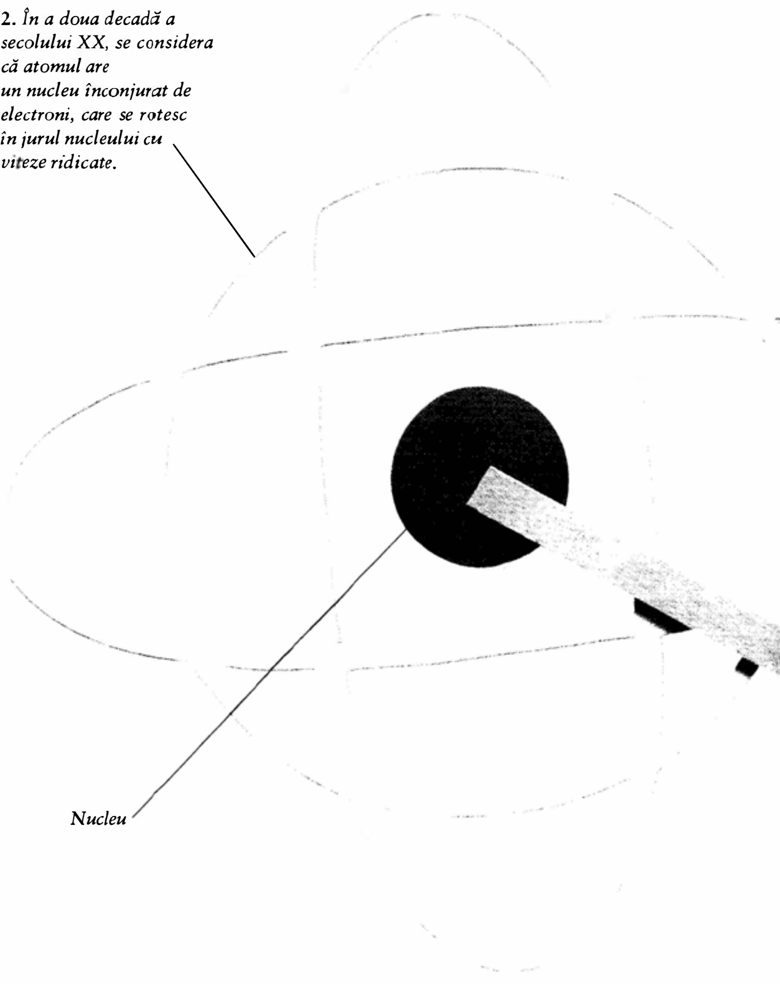
La sfârşitul anilor 1960, fizicienii puteau să demonstreze structura protonilor şi a neutronilor în acelaşi mod, bombardându-le cu fluxuri de electroni şi studiind ricoşeurile. (Acest lucru este o indicaţie a dimensiunilor mici ale protonilor şi ale neutronilor faţă de atomi, care au necesitat 60 de ani pentru a dezvolta tehnica până la acest nivel.) Tocmai aceste studii au stabilit, în anii 1970, ideea că deşi electronii sunt într-adevăr entităţi fundamentale fără structură internă, protonii şi neutronii sunt fiecare alcătuiţi din entităţi şi mai mici, numite cuarci.

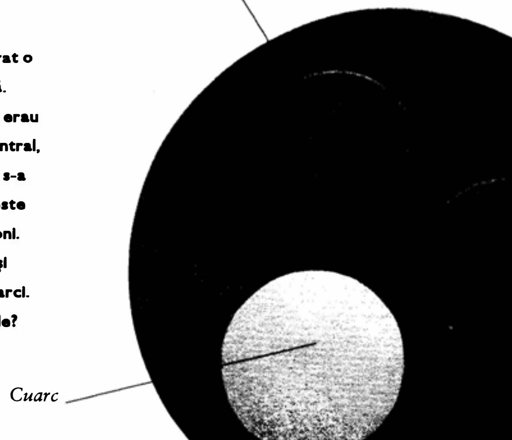
Acum se crede că fiecare proton conţine trei cuarci, iar fiecare neutron conţine tot trei cuarci. Ei au o proprietate analogă sarcinii electrice a protonilor şi electronilor, numită sarcină de culoare sau, pe scurt, culoare. Aceasta este numai o etichetă, fără să însemne că ar fi cuarcii coloraţi în modul în care am înţelege asta în lumea cotidiană. Particulele încărcate electric sunt ţinute laolaltă (sau împinse una faţă de alta) prin schimb de fotoni, care sunt cuantele câmpului electric. În mod similar, cuarcii sunt ţinuţi laolaltă prin schimb de particule numite gluoni, care sunt cuantele câmpului de culoare.

Modul în care se întâmplă acest lucru este descris de o teorie numită cromodinamica cuantică, modelată după teoria de imens succes a electrodinamicii cuantice. Din păcate, deşi există numai două tipuri de sarcină electrică (pozitivă şi negativă) şi numai un tip de foton care să transporte forţele electromagnetice, cromodinamica cuantică implică trei sarcini de culoare diferite şi necesită opt tipuri diferite de gluoni, ceea ce face teoria mult mai dificilă. Chiar şi aşa, a avut multe succese.

Printre altele, explică de ce protonii încărcaţi pozitiv ai unui nucleu nu se resping reciproc, descompunând nucleul. Atracţia dintre cuarci are o zonă de acţiune foarte scurtă, deoarece gluonii nu se pot deplasa pe distanţe lungi, şi funcţionează în principal în interiorul protonilor şi al neutronilor (iată explicaţia dimensiunilor lor). Dar o mică parte din atracţie ajunge la particulele învecinate din nucleu, iar dincolo de gama de dimensiuni reprezentate de

ISTORIA ATOMULUI





DREAPTA **Atomul era considerat o sferă solidă, indestructibilă. Apoi fizicienii au descoperit că erau alcătuiţi dintr-un mic nucleu central, înconjurat de electroni. Apoi s-a descoperit că nucleul însuşi este alcătuit din protoni şi neutroni. Acum credem că protonii şi neutronii sunt alcătuiţi din cuarci. Oare aici se termină lucrurile?**



1. Înainte de munca de pionierat a lui John Dalton asupra teoriei atomice din anii 1890, atomul era considerat solid şi indivizibil.

3. După descoperirea neutronului în anii 1930, s-a descoperit că nucleul este format din protoni şi neutroni.

Neutron

Proton

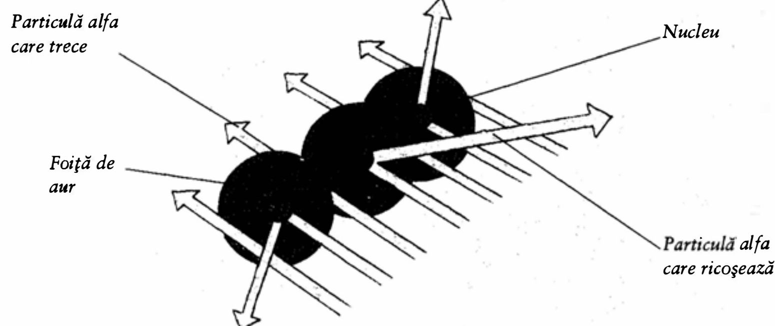
un nucleu atomic, această forţă de atracţie – reziduu al forţei de adeziune – învinge respingerea electrică. Acest lucru explică foarte frumos, aşa cum niciun alt model nu poate, de ce nucleele au dimensiunile pe care le au.

Aceasta este încă o forţă care funcţionează la scara nucleului, dar nu în lumea cotidiană. Este denumită forţă nucleară slabă (deoarece este mai slabă decât forţa de adeziune) şi este responsabilă pentru procesul de descompunere radioactivă, în care un nucleu instabil eliberează un electron şi se transformă într-un nucleu stabil. Această forţă este mai greu de înţeles din punctul de vedere al analogiei cu forţele din lumea cotidiană, dar mai uşor de tratat matematic decât forţa culorii, deoarece implică numai trei particule asemănătoare fotonilor. Una (ca şi fotonul) are sarcina electrică zero, una are sarcină pozitivă şi una are sarcină negativă. Spre deosebire de foton, toate cele trei particule au masă.

Aceste entităţi sunt atât de asemănătoare fotonilor încât a fost posibilă dezvoltarea unui singur set de ecuaţii care descriu şi electromagnetismul şi forţa slabă (la fel cum ecuaţiile lui Maxwell descriu şi electricitatea şi magnetismul). Aceasta este baza teoriei forţelor electrice slabe, care a fost testată în multe experimente şi a trecut toate testele. Fizicienii speră că, într-o zi, va fi posibil să combine teoria forţelor electrice slabe şi teoria cromodinamicii cuantice într-un singur pachet matematic sub forma unei mari teorii unificate.

JOS **Când Rutherford şi echipa sa au bombardat cu particule alfa (în principiu, nuclee de heliu) o foiţă subţire de aur, cele mai multe particule alfa au trecut prin foiţă, arătând că materia conţine mai mult spaţii goale ce separă nucleele atomice grele. Dar unele particule au lovit nucleele de aur şi au ricoşat, arătând cât de solid poate fi un nucleu.**

PARTICULELE ALFA ALE LUI RUTHERFORD



Teoria coardelor

Scopul final al fizicii este totuşi de a face pasul unificării teoriei forţelor electrice slabe şi cromodinamicii cuantice, înglobând şi gravitaţia în acest pachet teoretic. Dezvoltarea unei teorii cuantice a gravitaţiei, chiar fără descoperirea unei metode de unificare cu teoria forţelor electrice slabe şi cromodinamica cuantică, s-a dovedit a fi piatra de încercare ce a spulberat speranţele multor fizicieni – inclusiv Albert Einstein. Dar la începutul secolului XXI, un nou val de optimism animă fizicienii, datorită unui salt al imaginaţiei la fel de îndrăzneţ ca şi cel pe care l-a făcut Einstein însuşi atunci când a respins legile lui Newton în favoarea ecuaţiilor lui Maxwell. Folosind o abordare care ar fi uimit fizicienii cu un secol în urmă, teoreticienii dezvoltă acum modele care descriu entităţile pe care le consideram particule ca mici bucle de material vibratoriu, denumite prozaic coarde.

Muzica cuantelor

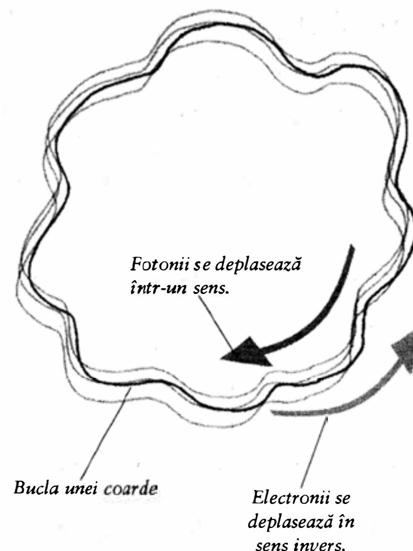
Aceste bucle sunt incredibil de mici. Ar fi nevoie de o sută de miliarde de miliarde de astfel de bucle pentru a le întinde pe un singur proton, deci nu există speranţa de a le evidenţia direct în experimente. Chiar şi aşa, au fost construite modele matematice ce încearcă să explice cuarcii şi electronii (şi fotonii şi alte purtătoare de forţă) în termenii diferitelor tipuri de coarde vibrante.

Conform acestor modele matematice, acelaşi tip de coardă care vibrează într-un anumit mod ar arăta ca un electron, iar vibrând în alt mod ar arăta ca un cuarc. Există o analogie evidentă cu modul în care pot fi produse diferite note muzicale de către aceeaşi coardă de vioară, fiecare făcând coarda să vibreze în diferite moduri.

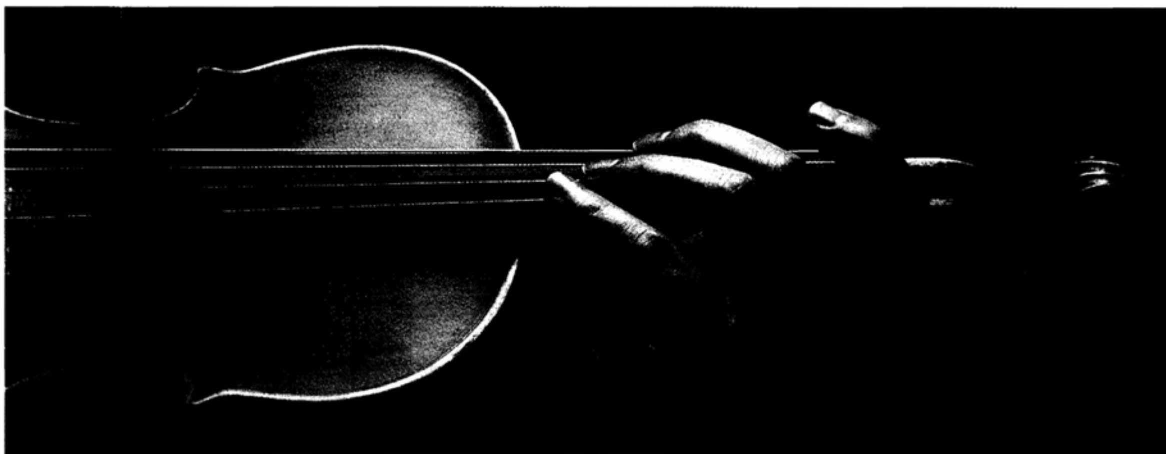
Dar în lumea teoriei coardelor cuantice se întâmplă un lucru ciudat. În mod neaşteptat, ecuaţiile insistă automat că trebuie să existe alt tip de vibraţie a coardelor, în afară de cele necesare pentru a explica toate particulele familiare şi forţele cuantice. La început, aceasta părea o adăugire supărătoare şi nedorită, iar fizicienii au încercat să scape de ea. Dar apoi au înţeles că acea stare a coardei corespunde proprietăţilor unui graviton, cuanta câmpului gravitaţional – echivalentul pentru gravitaţie al fotonului. Se prefigura astfel atingerea scopului ultim – o teorie a cuantelor pentru gravitaţie care se putea lega de teoria cromodinamică şi cea a forţelor electrice slabe.

Tot mai este necesară o cantitate enormă de muncă pentru a afla ce înseamnă acest lucru şi a determina dacă gravitaţia, interacţiunile slabe şi culorile tuturor particulelor din natură pot reieşi în mod natural dintr-o singură teorie a coardelor. Iată în ce direcţie se îndreaptă rapid eforturile fizicii în secolul XXI. Mă întreb cum ar fi rezolvat Newton această problemă.

BUCLE VIBRANTE



SUS **Toate particulele descoperite până acum ar putea fi explicate într-o zi ca fiind diferite vibraţii ale unui singur tip de coarde. În cea mai simplă versiune a acestei teorii, particulele, în înţelesul lor obişnuit (cum sunt electronii) sunt formate din unde care se propagă într-o coardă într-un anumit sens, în timp ce undele, în înţelesul lor obişnuit (precum fotonii) corespund valurilor care se propagă în sens invers în coardă.**



STÂNGA **Teoria coardelor este foarte similară coardelor vibrante ale unei viori – o varietate de note muzicale poate fi obţinută de o singură coardă care vibrează în diferite moduri.**

PRIVIRE RAPIDĂ ASUPRA FIZICII

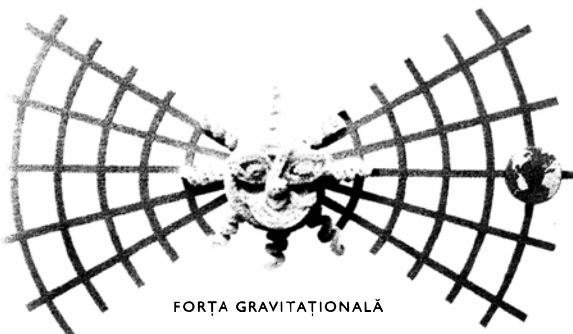

CORPURI CARE CAD

1638
Galileo Galilei descoperă principiile de bază ale accelerației şi căderii corpurilor.

1665-1686
Isaac Newton îşi prezintă teoria asupra gravitației şi cele trei legi ale mişcării; de asemenea, face muncă de pionierat cercetând natura luminii.

1678
Christiaan Huygens propune teoria ondulatorie a luminii.

1831
Michael Faraday sugerează ideea liniilor magnetice de forță şi propune ca lumina să fie explicată în termeni de vibrație a liniilor de forță.


FORȚA GRAVITAȚIONALĂ

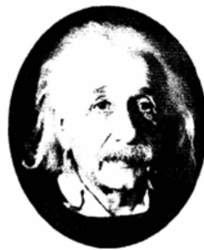
1864
James Clerk Maxwell propune ideea de câmpuri care leagă electricitatea şi magnetismul, oscilând cu viteza luminii.


JAMES MAXWELL

1900
Max Planck introduce ideea de cuante.


MAX PLANCK

1905
Albert Einstein propune teoria specială a relativității, în care demonstrează că viteza luminii este constantă oriunde în Univers, iar orice altceva este relativ.


ALBERT EINSTEIN

1910
Robert Millikan determină sarcina unui electron.

1915
Einstein propune teoria generalizată a relativității despre natura gravitației, în care explică modul în care gravitația poate deforma spațiu-timpul.

1911
Ernest Rutherford descoperă nucleul atomic (iar ulterior descoperă protonul).

1913
Niels Bohr dezoltă modelul Bohr al atomului, cu electronii pe orbite particulare în jurul nucleului.

1916
Niels Bohr începe să dezvolte interpretarea din Copenhaga a teoriei cuantice despre protoni şi electroni.

1919
Arthur Eddington verifică predicția lui Einstein observând, în timpul unei eclipse, modul în care razele de lumină de la o stea îndepărtată ce trec prin apropierea Soarelui sunt îndoite de gravitația acestuia.

1924
Wolfgang Pauli descoperă principiul de excludere ce acum îi poartă numele, care arată că doi electroni ai unui atom nu se pot afla în aceeaşi stare cuantică.

1924
Prințul Louis-Victor De Broglie descoperă că toate particulele sunt în principiu forme de undă.

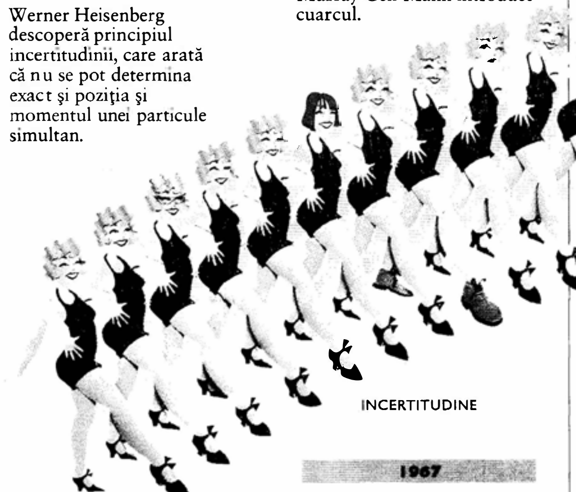
1925
Max Born dezvoltă o nouă formă influentă de mecanică cuantică.

1926
Paul Dirac anticipează existența antiparticulelor şi pune baze ferme teoriei cuantice.


PAUL DIRAC

1926
Erwin Schrödinger dezvoltă teoria mecanicii undelor cuantice, care include ecuația lui Schrödinger.

1927
Werner Heisenberg descoperă principiul incertitudinii, care arată că nu se pot determina exact şi poziția şi momentul unei particule simultan.


INCERTITUDINE

1932
Carl Anderson descoperă pozitronul şi muonul.

1932
James Chadwick descoperă neutronul.

1946
Richard Feynman creează diagramele ce acum îi poartă numele, pentru a înțelege modul în care interacționează electronii.

1947
Richard Feynman, Sin-Itiro Tomonaga şi Julian Schwinger dezvoltă în mod independent ideea electrodinamicii cuantice, pentru a explica modul în care interacționează electronii cu câmpurile electromagnetice.


FIZICA CUANTICĂ

1950
Freeman Dyson unifică ideile electrodinamicii cuantice într-o singură teorie.

1962
Murray Gell-Mann introduce cuarcul.

1967
Steven Weinberg şi Abdus Salam arată că în fizică există patru tipuri de bază de forțe: gravitația, electromagnetismul, forțele nucleare tari şi forțele nucleare slabe.

1974
Sheldon Glashow creează ideea cromodinamicii cuantice pentru a explica electromagnetismul şi interacțiunile slabe între particulele nucleare.

1982
John Schwarz şi Michael Green dezvoltă o versiune timpurie a ideei coardelor.

EXPERIMENTUL CU O FANTĂ





Spaţiu şi timp

ASTRONOMIA



Încă de când rasa umană a căpătat capacitatea de a-şi pune întrebări, noi, oamenii, am privit îndelung la frumuseţea stelelor. Curiozitatea ne-a fost atrasă, precum lumina atrage insectele în timpul nopţii, de aceste lumânări nucleare incandescente, care sunt atât de departe încât lumina lor, deja străveche, este abia vizibilă sub forma unor mici şi singuratice scânteieri. Uimirea iniţială a dus, inevitabil, la dezvoltarea uneia dintre primele ştiinţe, astronomia – o ştiinţă care până la urmă avea să ofere explicaţii despre firmament, stele rătăcitoare, modul cum a apărut şi cum se va termina lumea noastră.



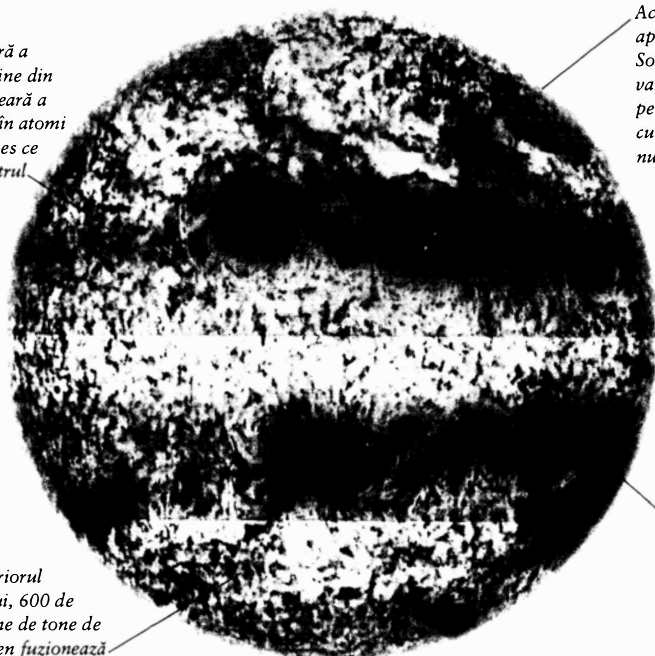
SUS **Era modernă a astronomiei a început cu inventarea telescopului, la începutul secolului XVII.**



STÂNGA **Universul este presărat cu nenumărate miliarde de stele. Totuşi, până în anii 1950, cunoştinţele noastre despre modul în care funcţionau erau pur teoretice. Acum computerele oferă un instrument puternic pentru simularea proceselor lor interne.**

STRUCTURA STELELOR

Dintre toate ramurile astronomiei, astrofizica stelară trebuie să fi părut a avea cele mai mici şanse de reuşită. Ea explorează apariţia şi evoluţia stelelor – obiecte care sunt atât de slab vizibile şi îndepărtate încât nu pot fi observate detaliat nici măcar de cele mai puternice telescoape de la sol sau din spaţiu. Din fericire, avem la îndemână o stea foarte obişnuită – Soarele – de la care putem afla foarte multe despre procesele fizice care influenţează structura şi ciclurile de viaţă ale surorilor ei de la distanţă. Totuşi, chiar şi Soarele îşi păzeşte bine secretele. Tot ce ştim despre alcătuirea sa internă este teoretic, deoarece atmosfera sa intimidant de fierbinte nu oferă vreo speranţă în viitorul previzibil de a săpa mai jos de suprafaţa sa folosind o sondă spaţială. Aşa încât astrofizica stelară a fost o provocare imensă, aproape imposibilă, până la dezvoltarea, în anii 1950, a computerelor capabile de simularea interiorului Soarelui şi al altor stele.



Imensa căldură a Soarelui provine din fuziunea nucleară a hidrogenului în atomi de heliu, proces ce are loc în centrul acestuia.

Aceasta este o imag aproape infraroşie a Soarelui, înfăţişând variaţii de temperat pe suprafaţa punct cu zone ceva mai re numite pete solare.

Petele solare s cu vreo 2000°C reci decât rest suprafeţei Soar

În interiorul Soarelui, 600 de milioane de tone de hidrogen fuzionează în heliu în fiecare secundă.

SUS **Soarele, centrul Sistemului Solar, este incredibil de fierbinte, având în mijloc o temperatură de peste 15 milioane de grade Celsius. Un fir de nisip la această temperatură ar da foc la tot ce se află în jurul lui la o distanţă mai mică de 100 de kilometri.**

ENERGIA SOLARĂ

Primele teorii despre natura Soarelui erau primitive, după standardele de azi, dar rezolvau primul mister solar şi stelar pus în faţa ştiinţei: sursa energiei Soarelui. Anaxagoras, un filosof grec ionian care a trăit pe la 400 î.Hr., susţinea că Soarele este alcătuit din fier fierbinte ce emite în continuu căldură şi energie către Pământ. Mult mai târziu, primii victorieni credeau că era alimentat cu cărbune. Ambele teorii par ridicole acum, dar adevărul nuclear ar fi părut atunci ridicol.

Soarele emite în spaţiu o cantitate colosală de radiaţii, iar conform dovezilor geologice, acest lucru se întâmplă încă de la formarea Pământului. Provocarea era să se se afle de unde veneau. O primă sugestie a fost că o parte a energiei gravitaţionale a Soarelui, sau mai corect spus, a energiei potenţiale s-a transformat în căldură şi apoi în radiaţie. Acum un secol, Hermann von Helmholtz (1821-1894) şi William Thomson, lord Kelvin (1824-1907), au emis ideea că, datorită masei sale enorme, un Soare care se contractă lent ar elibera destulă energie potenţială pentru a continua să strălucească la luminozitatea din prezent timp de milioane de ani. Acest lucru corespundea cu convingerea contemporană că Soarele şi Pământul aveau milioane de ani. Totuşi, studiile geologice ulterioare, folosind radioactivitatea naturală pentru datarea rocilor, au dus la reevaluarea vârstei Pământului. Era clar că are cel puţin sute de milioane de ani, poate chiar miliarde. Energia gravitaţională nu i-ar fi ajuns Soarelui atât de mult timp; atunci, care era adevărata sa sursă de energie?



SUS **Astronomia a parcurs un drum lung din secolul XIX, când se credea că Soarele este fierbinte datorită cărbunilor încinşi.**

În anul 1905, Einstein şi-a enunţat teoria specială a relativităţii. Aceasta era cheia pe care o aşteptau astronomii ce studiau stelele, deoarece teoria conţinea relaţia de echivalenţă, faimoasă acum, între masă şi energie, $E = mc^2$. Acest lucru sugera că masa se poate transforma în energie, atât în centrul Soarelui, cât şi în toate stelele. Dar cum se produce transformarea?

În anul 1938, Hans Bethe de la Universitatea Cornell a sugerat că fuziunea nucleelor de hidrogen în nuclee de heliu ar putea fi sursa de energie a corpurilor stelare. Când patru nuclee de hidrogen fuzionează pentru a forma un nucleu de heliu, masa heliului este cu circa 0,7 la sută mai mică decât masa totală a celor patru nuclee de hidrogen separate. Cele 0,7 procente lipsă sunt transformate în energie, astfel că pentru fiecare kilogram de hidrogen transformat, sunt eliberaţi 60000 de jouli de energie. (Un joule de energie este aproximativ cantitatea de energie absorbită de un măr care cade de pe o masă până ajunge pe podea.) Pentru a obţine energia emisă de Soare, ar fi necesare vreo 600 de milioane de tone de hidrogen care să fuzioneze în 595 de milioane de tone de heliu în fiecare secundă (eliberând echivalentul energetic al cinci milioane de tone de materie în acest proces). Oricât de mare ar părea acest număr, este cu mult mai mic decât masa hidrogenului disponibil în Soare, care ajunge pentru cel puţin 10 miliarde de ani.

Deşi principala sursă de energie a Soarelui este fuziunea hidrogenului şi a heliului, ştim acum că mai multe alte reacţii termonucleare se produc în profunzimile dense ale stelelor, la temperaturi ridicate. Acestea produc carbon, oxigen şi elemente mai grele. Ele sunt toate importante pentru variatele stadii de evoluţie stelară şi pentru crearea planetelor în noi sisteme solare.



HERMANN HELMHOLTZ
1821–1894

A fost unul dintre cei mai versatili savanţi din secolul XIX. Şi-a adus contribuţii majore şi în ştiinţă şi în artă. Helmholtz a sugerat că modul în care enorma masă a Soarelui se contractă lent este sursa căldurii acestuia, ceea ce duce şi la eliberarea de energie.

GENERAȚIA DE DUPĂ HUBBLE

Unele dintre cele mai minunate descoperiri din astronomia ultimilor ani au fost furnizate de programul misiunii spațiale al marilor observatoare NASA – telescopul spațial Hubble. El a trimis pe Pământ cele mai fantastice imagini văzute vreodată, de la cometa Shoemaker-Levy 9 plonjând în atmosfera lui Jupiter la nașterea stelelor în nebuloasele stelare. Zburând în afara atmosferei terestre, care încețoșează imaginile telesoapelor aflate pe Pământ, Hubble a extins viziunea umanității dincolo de părțile vizibile ale spectrului electromagnetic, captând imagini mai îndepărtate decât o făcuse vreodată un telescop – de la peste 13 miliarde de ani lumină distanță.



SUS **Telescopul spațial Hubble ne-a permis să vedem chiar locul de naștere al stelelor în nebuloasa Eagle (Vulturul). În norul nebuloasei sunt evidențiate globule numite EGG (evaporating gaseous globules – globule gazoase vaporizante), în care își încep viața stelele.**

Pe măsură ce rezultatele provenite de la Hubble continuă să vină și să ne uimească, astronomii proiectează următoarea generație de telescoape spațiale. Dacă totul merge conform planului, telescopul spațial James Webb va fi lansat în anul 2013 și va funcționa cel puțin până în 2018. Telescopul nu numai că va studia spațiul în profunzime, dar va merge mai departe decât o făcuse Hubble, înapoi în timp către perioada formării primelor galaxii. Nu sunt implicate mașini ale timpului în acest truc, ci numai exploatarea vitezei luminii.

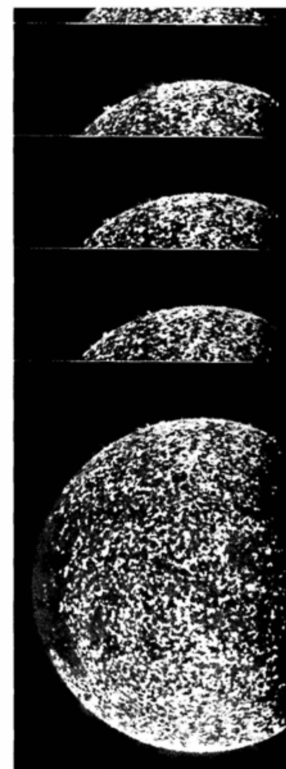
Cu cât este mai departe o sursă de lumină din Univers, cu atât necesită mai mult timp pentru a ajunge la noi. Deci lumina care ajunge azi la noi de la o asemenea sursă a fost emisă cu mult timp în urmă, iar distanța dă diferența în timp. Lumina a părăsit o stea aflată la un miliard de ani lumină cu un miliard de ani în urmă. Lumina a părăsit cele mai îndepărtate obiecte vizibile acum peste 13 miliarde de ani, în zorile Universului.

Pentru a ne ajuta și mai mult, obiectele cerești mai vechi și mai rapide au radiația deviată spre roșu în spectrul electromagnetic. Un efect secundar nefericit este că acest lucru le și împinge într-o zonă a spectrului care este absorbită de atmosferă. Este un preț care merită plătit, totuși, deoarece devierea spre roșu se comportă ca un indicator al vitezei obiectului, deci al vârstei sale – o marcă a timpului care ne arată când a fost generată lumina.

Motivul este legat de geometria Universului. Când un obiect se îndepărtează de noi – iar totul în Univers continuă să se îndepărteze încă de la Big Bang – undele sale luminoase sunt întinse și împinse de-a lungul spectrului către și dincolo de roșul vizibil. Această întindere este mai mare pentru obiectele care sunt mai îndepărtate. Dacă dublați dimensiunea Universului, două galaxii care se află la un milion de ani lumină devin îndepărtate la două milioane de ani lumină, dar două galaxii care au deja distanța de două milioane de ani lumină vor avea distanța de patru milioane de ani lumină. Deci, cu cât obiectele se află la distanță mai mare în Univers, cu atât au devieri mai mari spre roșu, indiferent de locul în care sunt măsurate. Acest lucru a fost descoperit de către Edwin Hubble la sfârșitul anilor 1920, iar descoperirea lui a arătat că Universul se află în expansiune.

Noile programe software au făcut posibil ca telescopul spațial Hubble să aibă o fereastră către Univers până acum 13 miliarde de ani, cu 700 de milioane de ani după Big Bang. Imaginea pe care a obținut-o, numită Ultra Deep Field, este formată din lumina vizibilă provenită de la primele stele și galaxii din Univers. Telescopul spațial James Webb va avea o gamă spectrală mai mare decât Hubble și va putea să privească înapoi în timp chiar mai mult, până în perioada în care Universul era tânăr și se formau primele stele și planete, la circa 100 de milioane de ani după Big Bang. Va urmări întreaga evoluție a galaxiilor până azi, examinând multe instantanee din albumele de familie ale ale diferitelor galaxii. Este similar încercării de a înțelege cum s-au dezvoltat oamenii privind fotografiile diferiților oameni la diferite vârste.

Știm cum arată acum galaxiile, dar știm mai puține despre modul cum au ajuns să fie astfel. Presupunerile inițiale ale lui Hubble despre evoluția galaxiilor s-au dovedit a fi greșite; dar după trei generații de la cercetările sale, telescopul spațial Hubble a ajutat la îmbunătățirea acestora.



SUS **Cunoştinţele noastre desp Soare se vor îmbunătăţi semnificativ în viitorul aprop deoarece va fi observat îndeaproape de o nouă genera de telescoape trimise în spaţi Această secvenţă este capata din telescopul spaţial SOHO, c a fost lansat în anul 1996 şi acu pluteşte în spaţiu către Soare la aproape două milioane de kilometri de Pământ.**

INTERIORUL SOARELUI

Problema energiei Soarelui era rezolvată, dar nu ajungea pentru a anticipa viitorul Soarelui. Nici nu ne spunea prea multe despre interiorul Soarelui – ceva ce nu vom putea şti vreodată prin experimente fizice.

La mijlocul anilor 1930, sir Arthur Eddington, matematician şi astrofizician britanic, a încercat să dezvolte metode teoretice de a cerceta Soarele şi celelalte stele. O simplificare a muncii lui Eddington arată că un balon cu gaz poate fi folosit ca model pentru Soare. Este de fapt o plasmă, a patra stare a materiei, în care nucleele şi electronii sunt separate într-un fluid conducător de particule elementare, dar Eddington s-a bazat pe faptul că plasma stelară se comportă aproximativ la fel ca un gaz ideal. Particulele dintr-un gaz fierbinte – sau din plasmă – se află în mişcare rapidă şi se ciocnesc frecvent una de alta. Impacturile sunt sursa presiunii gazului, care creşte odată cu temperatura particulelor. Acest lucru este enunţat în ceea ce se numeşte legea gazului perfect, care spune că presiunea unui gaz este proporţională cu produsul dintre densitatea şi temperatura gazului.

Enormele forţe gravitaţionale din plasma unei stele ar trebui să determine steaua să se prăbuşească spre centrul ei (să implodeze), dar fiindcă stelele îşi păstrează aproximativ aceeaşi dimensiune timp de miliarde de ani, aceste forţe trebuie să fie echilibrate de alte forţe care o împing spre exterior.

Eddington a presupus că forţele compensatoare sunt reprezentate de presiunea gazului corespunzătoare plasmei din interior. În acest caz, steaua ar continua să se prăbuşească în ea însăşi până când presiunea gazului va deveni destul de mare pentru a echilibra greutatea plasmei de deasupra. Dacă presiunea gazului ar fi mai mare decât forţele gravitaţionale, steaua s-ar extinde şi presiunea gazului ar scădea.

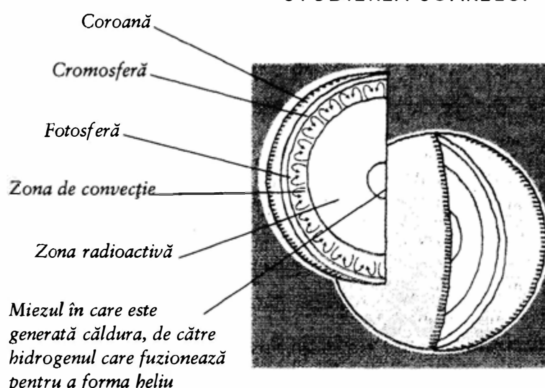
Un rezultat ar fi că presiunea, deci densitatea şi temperatura stelei ar trebui să crească odată cu adâncimea pentru a suporta cantitatea tot mai mare de materie care apasă de sus în jos. Condiţia de echilibru se numeşte echilibru hidrostatic, iar presupunând că Soarele se află în echilibru, Eddington a putut să înceapă să calculeze temperaturile şi presiunile interne ale stelei noastre la variate adâncimi.

Pe la sfârşitul anilor 1930, am putut să calculăm condiţiile interne din Soare şi din alte stele similare, cu mai mare precizie decât am fi putut calcula condiţiile interne ale Pământului. Ecuaţiile ne-au permis să deducem că în centrul Soarelui presiunea este de peste un miliard de atmosfere, iar temperatura este de peste zece milioane de grade centigrade (Celsius). Aceste temperaturi şi presiuni imense, cauzate de prăbuşirea gravitaţională a stelelor, sunt cele care declanşează fuziunea termonucleară atunci când o stea se prăbuşeşte iniţial dintr-o nebuloasă stelară.

EVOLUŢIA STELARĂ

În timp ce lumea astronomiei începea să înţeleagă modul în care funcţionează Soarele, atenţia tuturor s-a îndreptat asupra modului în care evoluează şi a duratei sale de viaţă. Perspectiva noastră efemeră ne împiedică să înţelegem vârstele stelelor. Fiecare individ trăieşte în cel mai bun caz un secol, iar civilizaţiile noastre evoluează numai de câteva mii de ani. Totuşi, Soarele îşi revarsă energia de aproape cinci miliarde de ani şi probabil va mai trăi încă o dată pe atât. Cum am putea spera să înţelegem evoluţia stelară de la o epocă la alta dincolo de propria noastră experienţă? Soluţia acestei căutări aparent fără răspuns este de a corela observaţiile noastre despre obiectele străine foarte îndepărtate din Univers cu teoriile noastre despre evoluţia Soarelui şi a stelelor – cărora li se adaugă ajutorul computerelor, capabile de a păstra modelul centrelor stelare în RAM.

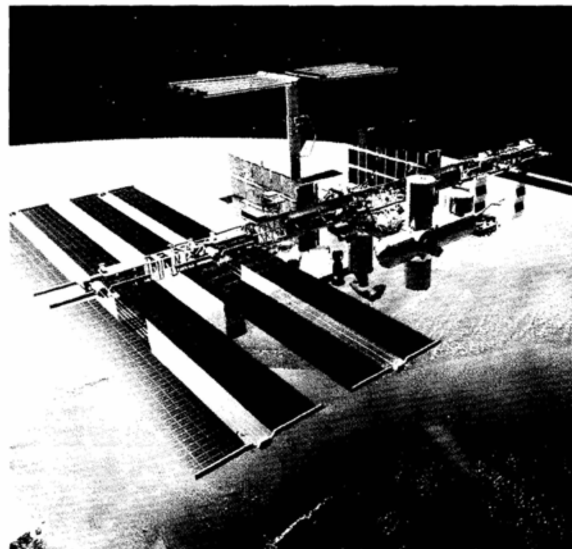
STUDIEREA SOARELUI



- **Suprafaţa vizibilă a Soarelui (primul strat galben în diagrama din stânga) este denumită fotosferă.**
- **Deasupra se află un strat strălucitor de gaz, numit cromosferă.**
- **Sub suprafaţă se află trei regiuni importante – miezul dens, zona de radiaţie, unde căldura se deplasează către suprafaţă, şi zona de convecţie în care circulă căldura.**

Imaginaţi-vă o rasă extraterestră îndepărtată captând câteva mii de imagini umane dintr-un noian de semnale radio, recepţionate imperfect din cauza distorsiunilor mediului interstelar. Biologii extratereştri sunt curioşi: cum se reproduc asemenea creaturi neobişnuite şi cum evoluează ele? Cele câteva mii de imagini sunt sortate după scală şi dimensiune. Aspectul lor variază de la creaturi mari la creaturi mici şi roz? Cum îşi schimbă culoarea şi caracteristicile? De ce corpurile lor au caracteristici diferite – trec prin vreun soi de metamorfoză? Ştiinţa a captat un număr de instantanee similare ale populaţiei stelare din ceruri şi face un studiu similar de a o încadra în familii şi perioade de timp.

DREAPTA **Cel mai mare proiect spaţial ale începutului secolului XXI este construcţia Staţiei Spaţiale Internaţionale. Având ca termen de finalizare aproximativ anul 2010, staţia este deja cea mai mare navetă spaţială construită vreodată, având în permanenţă la bord trei**



STAŢIA SPAŢIALĂ INTERNAŢIONALĂ

La începutul secolului XXI, agenţiile spaţiale ale lumii lucrau împreună pentru a construi şi a întreţine un avanpost ştiinţific permanent ce orbitează planeta. Continuând activitatea staţiei spaţiale Mir, Staţia Spaţială Internaţională este cea mai mare structură construită de om şi plasată vreodată pe orbită. Când vor fi terminate panourile solare şi structurile sale, Staţia Spaţială Internaţională va avea peste 100 m lungime şi 70 m lăţime.

Componentele staţiei provin din America de Nord, Rusia, Japonia şi Europa, formând un imens puzzle internaţional de 410 tone, cu piese care nu au fost vreodată asamblate pe Pământ. Va necesita zeci de zboruri de asamblare şi va dura zece ani pentru a fi construită, creând un complex de cercetare care, atunci când va fi gata, va putea să susţină activitatea unui echipaj format din şapte savanţi şi ingineri. Echipaje mai mici studiază deja mediul din apropierea Pământului şi efectele lipsei de gravitaţie, cu speranţa de a oferi detalii asupra funcţionării organismului uman în aceste condiţii.

Fără forţa opresivă a gravitaţiei, corpul se adaptează pe orbită. Primul efect observabil este că astronautul face „picioare de pui". Pe Pământ, sistemul circulator este echilibrat, între atracţia gravitaţională şi presiunea internă a pielii şi a muşchilor. Homeostaza, întreţinerea internă automată a mediului organismului, păstrează echilibrul: senzorii din gât şi din creier detectează fluctuaţiile de presiune şi, ca reacţie, vasele de sânge se contractă sau se dilată, iar rinichii extrag urina din organism. Pe orbită, tot acest mecanism este perturbat, deoarece gravitaţia nu mai împinge sângele în jos către picioare, iar presiunea exercitată în sus a vaselor de sânge şi a ţesuturilor este prea mare. În consecinţă, picioarele astronauţilor devin mai subţiri – acesta este efectul picioarelor de pui – iar feţele lor capătă un aspect pufos. Astronauţii experimentaţi obişnuiesc să fie „uscaţi" la lansare. Deoarece senzorii de presiune din gât detectează un exces aparent de sânge în partea superioară a corpului, primul lucru pe care vrea să-l facă un astronaut în spaţiu este să urineze (ceea ce, fără gravitaţie, este în sine o provocare tehnologică).

Osteoporoza, pierderea de calciu din masa osoasă, afectează multe dintre femeile de pe Pământ după menopauză şi unele dintre ele sunt afectate din nefericire de maladia pierderii oaselor. În mod normal, oasele sunt regenerate constant în timp ce două grupe de celule, osteoplastele şi osteoblastele, se deplasează prin oase îndepărtând şi depunând calciu. Dintr-un motiv anume, celulele care depun calciu îşi încetinesc activitatea în spaţiu, iar oasele se fragilizează. Astfel că astronauţii expuşi la gravitaţie zero pentru perioade îndelungate sunt afectaţi de osteoporoză. Nimeni nu ştie precis motivul. Visul celor ce fac cercetători spaţiale medicale este de a folosi astronauţii de pe Staţia Spaţială Internaţională pentru a afla mai multe despre pierderile osoase în condiţii de gravitaţie zero, a găsi o cale de a le opri şi de a folosi aceeaşi terapie pentru a-i vindeca pe bolnavii de osteoporoză de pe Pământ.

Pe orbită pot fi produse materiale imposibil de produs pe Pământ. Unele materiale – molecule proteice considerabil de mari – se dezintegrează sub efectul propriei lor greutăţi. Totuşi, una dintre funcţionalităţile neprevăzute ale Staţiei, desigur cea mai comercială, este cea de hotel spaţial. Câţiva turişti spaţiali extrem de bogaţi au plătit peste 20 de milioane de dolari pentru o vacanţă de o săptămână pe Staţia Spaţială Internaţională. Excursiile sunt organizate de agenţia spaţială din Rusia, iar accesul turiştilor este restricţionat la modulele ruseşti ale staţiei.



SUS Cele mai multe stele sunt imense în aproape toată existenţa lor. Dar după ce şi-au ars tot comustibilul nuclear – sau dacă nu au început să-l ardă – se prăbuşesc în ele însele, transformându-se în stele pitice, puţin mai mari decât o planetă.



EJNAR HERTZSPRUNG
1873-1967
Hertzsprung, aproape în acelaşi timp cu Henry Russell, a observat legătura dintre strălucirea absolută a unei stele şi culoarea ei (care ajută la determinarea distanţei la care se află).

GIGANTELE ROŞII

În anul 1905, astronomul danez Ejnar Hertzsprung a comparat stelele, reprezentând grafic luminozitatea în funcţie de culoare – care este în principiu temperatura suprafeţei lor. Printr-o coincidenţă, aceeaşi linie de cercetare a fost urmată în mod independent de către astronomul american Henry Russell în anul 1913. Diagrama, numită acum Hertzsprung-Russell, – terminată până la urmă în anul 1914 – a devenit unicul şi cel mai important instrument în astrofizica stelară pentru descifrarea cursului de viaţă al unei stele.

Cea mai semnificativă descoperire făcută de Hertzsprung şi Russell este aceea că stelele nu sunt distribuite aleator în diagramă, aşa cum ar fi fost dacă apăreau toate combinaţiile de temperatură a suprafeţei şi luminozitate. În schimb, combinaţiile s-au grupat în anumite părţi ale diagramei. Majoritatea stelelor urmează o linie diagonală îngustă din stânga sus către dreapta jos, numită secvenţă principală, dar un număr substanţial de stele se grupează în partea din dreapta sus, spre capătul roşu al spectrului, ceea ce arată că sunt strălucitoare şi reci.

Acest lucru părea a fi un paradox. Un obiect rece, cu energie scăzută, emite în mod normal mult mai puţină lumină decât un obiect fierbinte, cu un nivel înalt de energie, deci aceste stele sunt mai strălucitoare decât ar trebui să fie. Pentru ca ele să fie atât de strălucitoare, ar trebui să fie gigantice: de 10 până la 100 de ori mai mari decât Soarele. Câteva stele, ca Betelgeuse în Orion şi Antares în Scorpion, sunt aşezate şi mai departe spre partea din dreapta sus a diagramei Hertzsprung-Russell, deci trebuie să fie mult mai mari decât stelele gigantice obişnuite, aşa încât au fost denumite supergigantice.

PITICELE ALBE

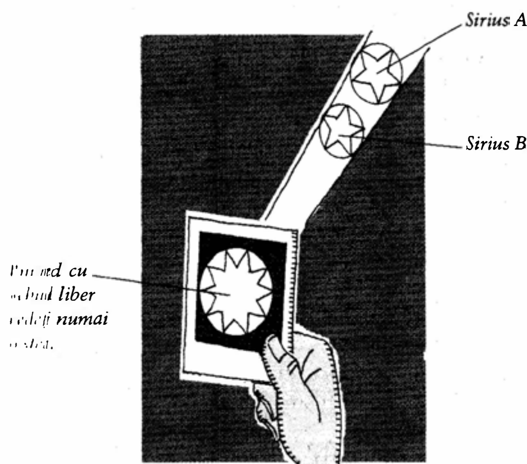
Gigantele roşii îşi au echivalente în partea opusă a secvenţei principale, în partea din stânga jos a diagramei Hertzsprung-Russell. Observaţiile asupra lui Sirius – o stea fierbinte albastră din secvenţa principală – au dezvăluit o stea însoţitoare orbitând în jurul ei, care era şi fierbinte şi mică. Urmând logica folosită pentru a deduce natura stelelor gigantice, astronomii au determinat că era o stea mică, însă puternică, pe care au denumit-o pitică albă. Deoarece acestea sunt în mod intrinsec stele slabe, trebuie să fie relativ aproape pentru a fi vizibile. Astfel se explica de ce prima pitică albă descoperită orbita în jurul lui Sirius, care se află numai la opt ani lumină distanţă – o aruncătură de băţ în Calea Lactee.

Orbitele celor două stele una faţă de alta au permis calcularea masei piticei, iar folosind luminozitatea ei a fost calculată raza, deci volumul ei. Rezultatele au fost uimitoare, deoarece cifrele au arătat că pitica are densitatea de peste 100000 de ori mai mare decât Soarele. Sir Arthur Eddington a fost unul dintre cei care au rămas perplecşi. După cum scria el,

„Mesajul decodat al stelei-companion a lui Sirius era «Sunt compusă dintr-un material de 3000 de ori mai dens decât orice aţi întâlnit vreodată. O tonă din materialul din care sunt alcătuită ar fi o mică pepită ce ar încăpea într-o cutie de chibrituri». Cum putea răspunde cineva la aşa ceva? Ei bine, răspunsul pe care cei mai mulţi dintre noi l-au dat în anul 1914 a fost «Taci, nu vorbi prostii»".

Totuşi, au fost descoperite şi alte pitice albe, iar până acum sunt cunoscute sute de astfel de stele. Dar cum s-au dezvoltat? Se ştie că protostelele reci

STELELE DUBLE



SUS **Sirius A, steaua Câinelui, are o stea-companion numită Câinele Mic – dar când sunt privite cu ochiul liber, par o singură stea.**

s-au format prin implozia nebuloaselor de gaz în regiuni în care, până la urmă, presiunea şi căldura favorizează fuziunea hidrogenului. Când are loc fuziunea, ele intră în secvenţa principală din diagrama Hertzsprung- Russell. Calculele teoretice şi simulările au completat secvenţa cu evenimente care se produc începând din acel punct.

Odată ajunsă în secvenţa principală, o stea este aproape în întregime alimentată cu energie prin transformarea hidrogenului în heliu. Ea rămâne în această stare aproape întreaga viaţă, dar în cele din urmă – după transformarea a zece procente din masa ei – rezervele uriaşe de hidrogen din miezul stelei sunt complet epuizate. Miezul este acum lipsit de sursa lui de energie, deşi fuziunea hidrogenului continuă în stea, iar în absenţa unui aport exterior de energie care să-i suporte masa, miezul se contractă.

În timp ce miezul stelei se micşorează, eliberează energie potenţială gravitaţională. Aceasta este absorbită de straturile exterioare ale atmosferei, ceea ce le face să se extindă la proporţii uriaşe. Steaua produce acum mai multă energie decât înainte, dar deoarece are o suprafaţă mai mare, cantitatea de energie pentru zona de la suprafaţă este mai mică. Astfel, suprafaţa devine mai rece şi se înroşeşte, aşa cum se poate observa din exterior. Steaua s-a deplasat acum către partea dreaptă a diagramei Hertzsprung-Russell, în regiunea gigantelor roşii.

CE SE ÎNTÂMPLĂ MAI DEPARTE?

Răspunsul a fost dat de către astrofizicienii anilor 1950, care se întrebau din ce suntem alcătuiţi. În particular, astrofizicieni ca sir Fred Hoyle au vrut să afle sursa elementelor din care suntem formaţi. Toate elementele au fost create prin fuziunea atomilor elementelor mai uşoare, pe măsură ce Universul evolua. Dar Hoyle a vrut să ştie exact cum s-a întâmplat acest lucru.

Se ştia din fizica particulelor că elementele care puteau fi obţinute prin unirea perechilor de nuclee de heliu erau instabile, deci nu puteau fi obţinute în interiorul stelelor. Dar dacă era posibil să fie obţinut cumva carbonul, ar fi fost relativ uşor de a obţine chiar elemente mai grele prin adăugarea la el a nucleelor de heliu (numite şi particule alfa).

Hoyle a înţeles că acest lucru se putea întâmpla numai dacă ar fi avut loc un proces neobişnuit, numit rezonanţă, în timpul ciocnirii a trei nuclee de heliu, în ceea ce avea să se numească proces triplu alfa. El l-a convins pe specialistul în fizică nucleară William Fowler să efectueze un studiu al acestui tip de rezonanţă folosind acceleratorul de particule de la Caltech. Răspunsul a venit la timp – Hoyle a folosit aceste informaţii despre stele pentru a anticipa modul în care se comportă particulele la un nivel ridicat de energie. Împreună cu Geoffrey şi Margaret Burbidge, Hoyle şi Fowler au construit, pornind de la acest rezultat, o teorie completă asupra modului în care sunt obţinute elementele din hidrogen şi heliu în interiorul stelelor. Calculele lor includeau şi o confirmare, deoarece rapoartele teoretice ale elementelor obţinute sunt aproape aceleaşi cu cele în care se regăsesc în natură.

Procesul are ramificaţii terminale pentru gigantele roşii. Procesul triplu alfa începe brusc în majoritatea stelelor, având loc în miezul lor într-o eliberare rapidă de energie. Energia inversează micşorarea miezului stelar şi straturile exterioare ale stelei se prăbuşesc spre interior, încălzindu-se în acest timp – terminând prima fază de gigantă roşie după circa un miliard de ani de existenţă la dimensiuni mari. Apoi, după cel mult câteva sute de milioane de ani, steaua se extinde iar şi iar, devenind o gigantă roşie, în timp ce în noile procese nucleare fuzionează elemente tot mai grele şi apoi consumă combustibilul – deplasând steaua la stânga şi la dreapta în diagrama Hertzsprung-Russell.



SUS **Aceasta este o fotografie optică a unuia dintre cele mai frumoase obiecte de pe cerul nopţii, norul Pleiadelor (M45) din constelaţia Taurului. Sunt vizibili norii de gaz şi praf interstelar – rămăşiţe ale nebuloasei originale din care s-au format stelele.**

SUPERNOVE ŞI GĂURI NEGRE

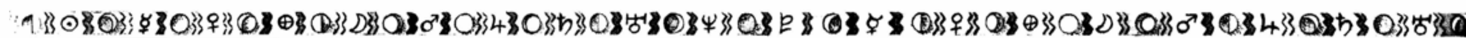
...neori, dacă steaua este o supergigantă masivă, iar miezul ei a fost transformat aproape în totalitate în fier, poate deveni supernovă. Miezul se contractă brusc, eliberând cantităţi uriaşe de energie gravitaţională, iar straturile exterioare ale stelei distruse sunt aruncate în spaţiu. Aceste explozii aruncă materia în mediul interstelar, îmbogăţind materialul din care vor fi create următoarele generaţii de stele cu elemente care formează lumi pietroase – şi, pe cel puţin una dintre aceste lumi, planeta noastră, Pământ, viaţă.

În anul 1987, lumina unei stele devenite supernovă a ajuns la noi dintr-o galaxie învecinată de la peste 1175000 ani lumină distanţă. Era o primă confirmare strălucită a teoriei. Astronomii anticipaseră că prăbuşirea unui miez ar produce un număr masiv de neutrino – particule fără masă care interacţionează numai foarte slab cu materia. Înainte de acest eveniment, totul era numai teorie, dar la ora 07:35:42 GMT, pe 27 februarie, detectorii subterani au înregistrat un număr crescut de neutrino trecând prin Pământ. În noaptea următoare a fost văzut un nou obiect strălucitor – o stea aflată în agonie.

Aceste convulsii se încheie cu formarea unei stele precum supernova din anul 1987, care şi-a epuizat complet rezerva de energie nucleară. Apoi steaua aflată în agonie se contractă, devenind extrem de densă. Ceea ce se întâmplă apoi depinde de masa ei.

Resturile formează adesea o pitică albă, în care presiunea internă a stelei îi susţine straturile exterioare. Lumina pe care o emite o pitică albă provine din cenuşa fostei stele aflate pe moarte – căldura înmagazinată care, după miliarde de ani, a fost consumată, astfel că acum, corpul ceresc de

DREAPTA **Găurile negre sunt puncte din spaţiu, atât de dense încât gravitaţia lor absoarbe absolut orice, inclusiv lumina. Cândva, erau o construcţie pur teoretică – punctul final logic al prăbuşirii unei stele aflate în agonie sub influenţa propriei gravitaţii. Dar există dovezi tot mai multe că astfel de obiecte cereşti există în centrul multor galaxii – chiar şi în a noastră Cale Lactee.**



DE LA ÎNTUNERIC, LA BIG BANG, APOI LA ENERGIE NEAGRĂ

...n anul 1912, Vesto Slipher a făcut o descoperire care a pus bazele înţelegerii moderne a cosmologiei. Sub conducerea lui Percival Lowell, el a obţinut prima analiză spectrală a luminii provenite de la un obiect astronomic care arăta ca un ca un nor spiralat de gaz: o nebuloasă. Lowell credea că nebuloasa este un sistem solar în curs de formare – distanţa şi dimensiunea norului fiind atunci necunoscute.

Dar spectrul nebuloasei nu s-a dovedit deloc a fi al unui tânăr sistem solar, aşa cum se aştepta Slipher. Spre surprinderea lui, liniile spectrale ale elementelor din lumină au arătat un mare efect de deviere Doppler, indicând că se îndepărta cu circa 300 km pe secundă. Slipher şi-a continuat în următoarele două decenii studiul, pe alte obiecte cereşti similare, şi a descoperit că toate, cu câteva excepţii se deplasau cu viteze de cel puţin 2000 km pe secundă, cele mai multe îndepărtându-se de noi. Aceşti nori s-au dovedit a se afla dincolo de galaxia noastră – erau alte galaxii, nu spirale de gaz şi particule de praf, ci stele.

Între timp, Henrietta Leavitt de la Harvard College Observatory analiza schimbarea intensităţii luminii, sau curbele luminii emise de nişte stele numite variabile cefeide. Stelele pe care le studia se aflau toate la aceeaşi distanţă faţă de Pământ, în aceeaşi mică galaxie. Când Leavitt a reprezentat grafic perioadele de variaţie din curbele lor de lumină în funcţie de cantitatea de lumină pe care o emiteau, relaţia a devenit evidentă: cu cât era mai mare perioada curbei lor de lumină, cu atât varibilele cefeide erau mai strălucitoare.

Stele par mai mici cu cât sunt mai departe, deoarece lumina se răspândeşte într-o sferă mai largă pe măsură ce se îndepărtează de stea. Dimensiunea sferei este proporţională cu pătratul distanţei. Cunoscând sursa originală a luminii, totuşi, poate fi calculată distanţa din strălucirea observată. Perioadele (lungimea ciclurilor) pulsaţiilor cefeide au furnizat strălucirea originală, permiţându-le să devină marcaje cosmice de distanţă.

Edwin Hubble, în timp ce lucra la Observatorul Mount Wilson în anul 1923, a folosit curbele de lumină ale variabilelor cefeide din nebuloasa observată de către Slipher pentru a le estima distanţele. El a descoperit că acele obiecte trebuiau să fie extrem de îndepărtate.

Cercetările lui Slipher asupra devierii galaxiilor spre roşu şi asupra vitezelor lor în timp ce se îndepărtează de noi au fost continuate de Hubble. În scurt timp a devenit evident că, pe măsură ce un obiect era mai îndepărtat, cu atât avea o deviere mai mare spre roşu şi se îndepărta mai repede de noi: totul în Univers se îndepărta. Rezultatul a fost publicat în anul 1931 şi a devenit cunoscut sub numele de legea lui Hubble.

Legea lui Hubble ne permite să cercetăm vârsta Universului şi să facem speculaţii asupra destinului său. Legea lui Hubble este exprimată simplu în matematică, sub forma $V = HD$, unde V este viteza radială a unei galaxii şi D este distanţa până la ea. H este constanta lui Hubble, obţinută din observaţii, şi arată cât de repede se îndepărtează o galaxie pe unitatea de distanţă. Presupunând că





dimensiunea unei planete cu masa egală cu a unui Soare se stinge într-un corp rece, numit pitică neagră.

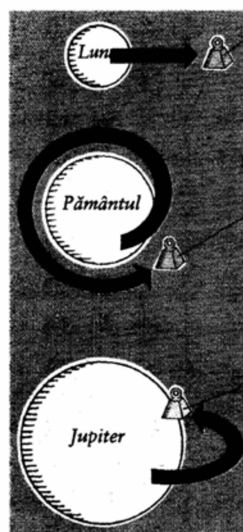
Piticele albe sunt formate din materie care este incredibil de comprimată, căreia nu i se mai aplică legile normale ale materiei. Interiorul lor este o plasmă degenerată, în care atomii sunt separaţi în electroni şi ioni; ei sunt comprimaţi într-un volum mult mai mic decât normal, până când forţele electrostatice suportă masa de deasupra.

Cu cât deasupra se află o masă mai mare, cu atât este comprimat mai mult material, având drept consecinţă faptul că dimensiunile finale ale piticei albe contravin bunului simţ ştiinţific: cu cât masa stelei originale este mai mare, cu atât este mai mică raza piticei albe rezultate.

GRAVITAŢIE VERSUS VITEZĂ

Universul a fost creat în Big Bang – punctul când toată materia şi spaţiu-timpul au explodat întru existenţă – şi galaxiile s-au îndepărtat de atunci cu viteză constantă, viteza (V) a oricărui obiect din Univers este raportul dintre distanţa parcursă (D) şi vârsta Universului. Coroborând cu ecuaţia lui Hubble şi simplificând distanţele, rezultatul este că vârsta Universului este chiar inversa constantei lui Hubble, ceea ce înseamnă că Universul are 13,7 miliarde de ani.

Şi când se va sfârşi? Soarta Universului depinde de cât de multă gravitaţie există în Univers. Dacă densitatea materiei din Univers este sub 11 atomi de hidrogen pe centimetru cub, Universul se va extinde la nesfârşit. Totul va pierde lent energie, iar galaxiile se vor îndepărta în infinit. Dacă densitatea Universului are exact valoarea menţionată, expansiunea va încetini până când totul rămâne nemişcat, devenind o colecţie statică de galaxii îndepărtate. Dacă Universul este mai dens decât 11 atomi de hidrogen pe centimetru cub, chiar şi numai cu câţiva atomi, Universul îşi va înceta în cele din urmă expansiunea şi va începe să se contracte către punctul de origine al Big Bang-ului. În acest punct, tot Universul va ocupa aceeaşi regiune a spaţiului în care a avut loc marea explozie. Aceste trei rezultate sunt bazate pe ideea încetinirii expansiunii Universului în timp ce propria sa gravitaţie fură energie cinetică de la materia sa. Totuşi, în anul 1998, această idee a trebuit revizuită. Observaţiile făcute asupra unor galaxii foarte îndepărtate au arătat că, în loc de a încetini, aceste galaxii îşi măresc viteza una faţă de alta! Nimeni nu cunoaşte cauza acestei accelerări, dar ea a fost atribuită unei forţe necunoscute până atunci: energia neagră (sau întunecată). Energia neagră este un fel de antigravitaţie. Ea funcţionează la distanţe foarte mari, la fel ca şi gravitaţia, dar, în timp ce gravitaţia este o forţă de atracţie, energia neagră este o forţă de respingere. Nu se ştie care este cauza existenţei energiei negre, dacă este constantă sau dacă variază în vreun fel. Oare va deveni mai mare în timp ce Universul continuă să se extindă? Şi ce efect va avea asupra destinului Universului? Datorită energiei negre, ştiinţa se află într-un întuneric şi mai mare.



Dacă unei greutăţi i se dă un ghiont pe Lună, va zbura îndepărtându-se continuu de suprafaţă.

Pe un corp ceresc mai mare, cum este Pământul, acelaşi ghiont ar plasa obiectul pe o orbită circumterestră.

Dar pe o planetă şi mai mare, ca Jupiter, exact acelaşi ghiont ar face greutatea să se ridice puţin înainte de a cădea din nou pe suprafaţa planetei.

VÂNTUL FANTOMATIC ŞI LUMINILE DIN CER

Oricât de uimitoare şi frumoase ar fi stelele şi planetele, este posibil să fie întrecute de nişte lumini mult mai rare ale cerului – cortine dansatoare de lumini pulsatile albastre şi verzi, denumite aurore boreale sau luminile nordului. Ştiinţa s-a luptat timp de secole să explice acest fenomen. Galilei a propus ideea că fenomenul era provocat de aerul care se ridică din umbra Pământului şi este luminat de Soare, iar Descartes credea că luminile sunt reflexii ale cristalelor de gheaţă aflate la mare altitudine.

Savanţii au început să-şi croiască drum către explicaţia corectă a luminilor nordului în anul 1722, când George Graham, un faimos constructor de instrumente londonez, a observat că busolele sale incredibil de precise erau mereu afectate de mici perturbaţii. O echipă suedeză a confirmat observaţiile sale în anul 1740, observând că perturbaţiile magnetice erau mai violente în timpul marilor aurore boreale. Deci luminile din cer aveau legătură cu câmpul magnetic al Pământului.



SUS Luminile strălucitoare spectaculoase ale aurorei boreale sunt create prin interacţiunea particulelor încărcate electric ale vântului solar cu atmosfera Pământului.

De ce câmpul magnetic era atât de perturbat şi modul în care cerul se ilumina în timpul aurorelor au rămas necunoscute până la începutul secolului XIX, când observatorii au început să măsoare perturbaţiile şi să numere petele întunecate de pe suprafaţa Soarelui, numite pete solare. Intensitatea perturbaţiilor varia odată cu numărul petelor solare, deci Soarele perturba cumva câmpul magnetic al Pământului şi făcea cerul să se lumineze noaptea.

Dovezile care implicau Soarele au devenit irefutabile, după o observaţie întâmplătoare făcută de un astronom englez, numit Richard Carrington. Pe 1 septembrie 1859, Carrington schiţa nişte pete solare când l-a speriat o flacără trecătoare incandescentă de lumină de la Soare. Până când a mai chemat pe cineva să vadă evenimentul, totul se terminase, dar din fericire un alt observator văzuse acelaşi lucru. Mai departe, Observatorul Kew din Londra a făcut măsurători simultane care arătau că fusese afectat aproape simultan şi câmpul magnetic. În final, în 18 ore, a izbucnit una dintre cele mai puternice furtuni magnetice înregistrate vreodată, cu aurore întinzându-se foarte departe către sud, până în Puerto Rico. Orice venise de la Soare pentru a provoca aurora, se deplasase cu aproape 2300 km pe secundă.

Abia în anul 1918 a fost aflată legătura solar-terestră. Sydney Chapman a postulat că un flux de electroni încărcaţi negativ ar fi putut fi emis de Soare sub forma unui „vânt solar" către Pământ, care i-a perturbat câmpul magnetic şi a pătruns în atmosferă, excitând moleculele din aer şi făcându-le să capete culorile verde şi albastru fluorescent din auroră. Ideea lui Chapman nu a supravieţuit în forma sa originală, deoarece criticii au spus că, desigur, un astfel de flux s-ar autodistruge prin respingerile electrostatice reciproce ale particulelor încărcate negativ. Dar o modificare s-a dovedit salvatoare – de ce electroni şi nu plasmă? O plasmă este o supă fierbinte de electroni încărcaţi negativ şi ioni încărcaţi pozitiv, în număr egal, astfel că plasma însăşi este neutră din punct de vedere electric şi nu este auto-distructivă.

Problema era rezolvată, deoarece ideea plasmei avea o implicaţie care avea să fie dovedită cu ani mai târziu de navele spaţiale. Plasmele transportă câmpuri magnetice în timp ce se deplasează, astfel că plasma vântului solar ar putea schimba câmpul magnetic al Pământului. Pe măsură ce vântul solar se deplasează, partea frontală a câmpului se comprimă şi se extinde în spatele Pământului pentru a crea o coadă, formând o cavitate magnetică în jurul Pământului, în care nu poate pătrunde vântul solar.

În curând, observaţiile asupra cometelor cu coadă aveau să ofere indicii asupra densităţii şi vitezei vântului solar. În timp ce cometele orbitează în jurul Soarelui, ele lasă cozi de gaz şi gheaţă, dar vântul solar deviază cozile astfel ca ele să fie îndreptate în direcţia opusă Soarelui. Pentru a devia atât de mult cozile cometelor, vântul trebuia să se deplaseze fenomenal de repede, cu o viteză de circa 450 km pe secundă, şi să fie incredibil de rarefiat, sub 30 de particule pe centimetru cub. Dacă aţi face mâinile căuş în vântul de pe Pământ, aţi ţine peste 300 de milioane de trilioane de particule. Deoarece vântul solar este atât de rarefiat, dacă aţi sta în calea lui – fie şi la viteza de 450 km pe secundă – nu ar avea cum să vă mişte nici măcar un fir de păr din cap.

Rachetele aveau să confirme în curând acest lucru. În anul 1958, la un an după Sputnik I, a fost inaugurat programul spaţial al S.U.A. cu lansarea navetei Explorer I. Avea la bord un contor Geiger (un instrument care detectează şi măsoară intensitatea radiaţiei, n. trad.) oferit de profesorul James Van Allen, un fizician de la Universitatea din Iowa. Instrumentul a descoperit şi modul în care câmpul magnetic al Pământului ne protejează de efectele negative ale atacurilor violente ale radiaţiei vântului solar, dar şi că aranjează anumite particule în centuri letale de radiaţie în jurul planetei.

GĂURILE NEGRE

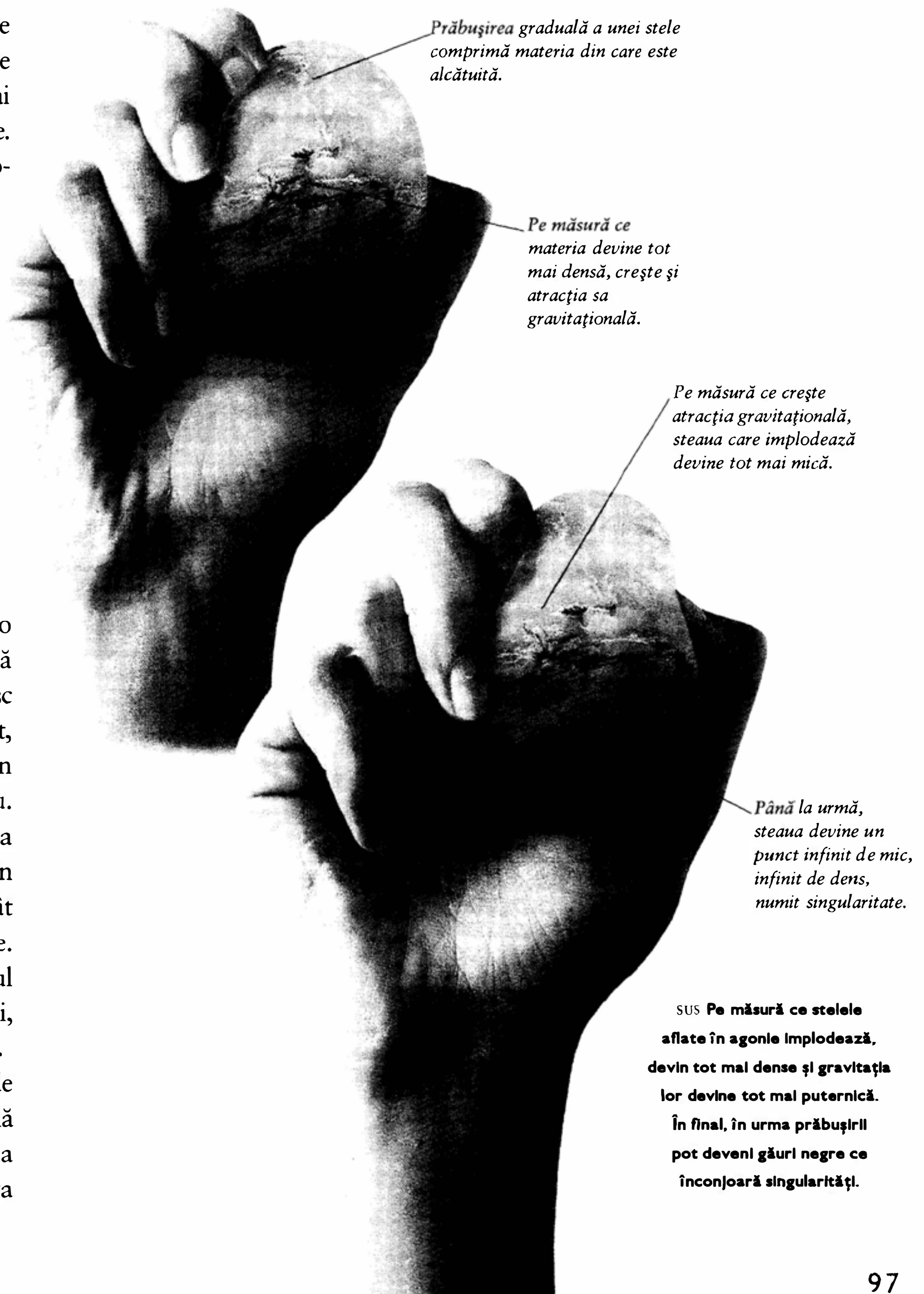
n anul 1930, Subrahmanyan Chandrasekhar, un pionier al studiilor teoretice asupra piticelor albe, a inţeles că trebuie să existe o limită superioară a forţelor pe care electronii le pot oferi în încercarea de a suporta greutăţi tot mai mari. Limita lui Chandrasekhar a arătat că, pentru o stea cu masa de 1,4 ori mai mare decât masa Soarelui, interiorul piticei albe rezultate nu ar putea suporta masa straturilor sale exterioare. De aceea, ele ar continua să se contracte, astfel că pitica albă aproape nu ar mai avea vreo dimensiune. Desigur, acest lucru sfidează bunul simţ – şi ne-ar rătăci într-o lume a obiectelor în care legile obişnuite ale fizicii ar începe să se clatine. Răspunsurile încă mai trebuie să fie lămurite şi confirmate, dar cu cât se contractă mai multe stele masive, se bănuieşte că devin găuri negre.

Înarmaţi numai cu teoria newtoniană convenţională a luminii, primii astronomi, ca John Michell şi Pierre Simon, marchiz de Laplace, au propus existenţa unor astfel de „stele întunecate". În anul 1796, Laplace a speculat că stelele masive ar putea avea o atracţie gravitaţională atât de mare încât lumina s-ar curba în jurul lor şi nu ar mai putea scăpa vreodată. În anul 1967, John Wheeler, un fizician de la Universitatea Princeton, a considerat corpurile întunecate ale lui Laplace în contextul teoriei generalizate a relativităţii a lui Einstein şi a denumit aceste obiecte găuri negre.

Toate corpurile cereşti, cum sunt şi stelele, au o viteză de evadare – viteza pe care trebuie să o atingă un obiect pentru a învinge gravitaţia corpului ceresc şi a-l părăsi definitiv. O rachetă lansată de pe Pământ, de exemplu, trebuie să atingă viteza de evadare din gravitaţia Pământului înainte de a se avânta în spaţiu. Viteza de evadare depinde de masa şi de raza corpului ceresc. Cu cât masa este mai mare – sau, în cazul unei stele care se prăbuşeşte în ea însăşi, cu cât raza este mai mică – viteza de evadare este mai mare. Într-o gaură neagră, raza stelei s-a redus sub punctul în care viteza de evadare este egală cu viteza luminii, deci toată lumina stelei rămâne permanent captivă.

Soarelui nostru nu i se va întâmpla ceva aşa de exotic. Aflat în siguranţă datorită faptului că se află sub limita celor trei mase solare ce reprezintă condiţia minimă pentru a deveni gaură neagră, Soarele îşi va sfârşi probabil existenţa sub forma unei pitice albe după ce va fi trecut prin faza de gigantă roşie. O bună estimare este aceea că Soarele mai are încă cinci miliarde de ani înainte ca rezervele sale de hidrogen să fie epuizate şi să i se formeze un miez din heliu pur. În acea etapă, se va transforma în gigantă roşie, iar stratul său exterior va înghiţi totul până la orbita lui Venus – şi va incinera punctul albastru deschis al Pământului într-un infern roşu. Stelele care au creat materia vieţii şi i-au oferit în continuare energia necesară vor eradica în final orice urmă a vieţii.

JOS **Când stelele încep să ardă, nu există căldură care să le împingă în afară, astfel că încep să se prăbuşească sub influenţa propriei gravitaţii.**



SUS **Pe măsură ce stelele aflate în agonie implodează, devin tot mai dense şi gravitaţia lor devine tot mai puternică. În final, în urma prăbuşirii pot deveni găuri negre ce înconjoară singularităţi.**



SUS **Din timpuri străvechi, astronomii şi-au croit drum către înţelegerea cerului nopţii grupând stelele după modele familiare, numind grupurile constelaţii, fiecare cu propriul nume, de obicei inspirat din mitologia greacă. De fapt, nu există vreo legătură între stelele dintr-o constelaţie; vecinătatea lor în spaţiu este pur vizuală şi reprezintă o coincidenţă.**

Planetele

Dezvoltarea astronomiei planetare a fost un proces evolutiv. Teoriile şi ideile care explicau natura Lunii şi luminile rătăcitoare din cer s-au tot învârtit în mintea omului de când a început istoria omenirii. Teoriile apărute din conjecturi ştiinţifice s-au bucurat de durate de viaţă variabile, nu întotdeauna conforme cu corectitudinea lor, deoarece selecţia naturală a argumentelor şi dezbaterile au fost uneori limitate de politica ştiinţifică a timpurilor. Iar uneori, un cataclism ştiinţific aleator, ca inventarea telescopului sau construirea navetelor spaţiale, a şters cu buretele teoriile dominante şi a făcut loc unor noi idei ştiinţifice.

Universul egocentric

Dezbaterea cu privire la planete este plină de rămăşiţele vechilor teorii ştiinţifice. Ideea că Pământul este centrul Universului, iar Soarele, planetele şi stelele se învârtesc în jurul lor, este una dintre cele mai spectaculoase relicve. Privind retrospectiv, pare incredibilă, dar a dominat gândirea oamenilor o mare parte din istoria lor. Făcea apel la un egoism care ne plasa în vârful Creaţiei. De asemenea, se potrivea cu observaţiile de zi cu zi, cu condiţia să fie acceptate câteva fenomene misterioase. Asemenea mistere erau ceva obişnuit într-o epocă dominată de fanatism religios, iar refuzul de a accepta misterele le-a permis unor astronomi precum Copernic şi Galilei să pună bazele ştiinţei moderne a studierii planetelor.

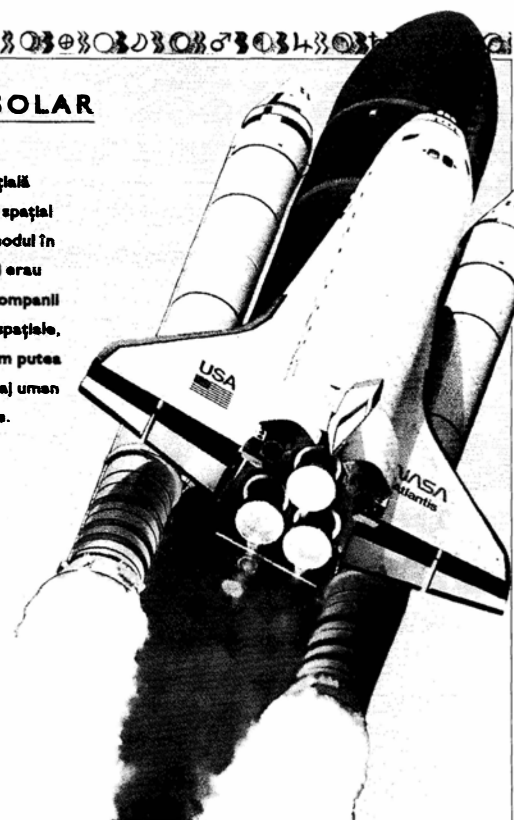
SCURTĂ ISTORIE A SISTEMULUI SOLAR

Pe locul în care se află azi Sistemul Solar al nostru se afla cândva un nor masiv, rece şi întunecat de gaz interstelar. Hidrogenul şi heliul formau cea mai mare parte a acestei nebuloase solare – materia din care sunt formate Soarele şi planetele. Cea mai mare parte a restului materiei, elementele şi moleculele mai grele, era formată din mici ace sau fulgi de gheaţă. Nebuloasa solară, având o masă de două-trei ori mai mare decât masa Soarelui, exista sub această formă din timpuri nedeterminate.

Conform unei teorii, această stare a fost perturbată cu circa 4,6 miliarde de ani în urmă prin explozia masivă a unei stele învecinate, care îşi încheia existenţa din cauza epuizării combustibilului. Undele de şoc care au pulsat prin norul de gaz l-au perturbat, determinându-l să implodeze sub efectul propriei gravitaţii – sfârşitul unei alte stele a declanşat formarea stelei noastre.

Acest concept al originii Sistemului Solar pare să fi fost sugerat mai întâi de filosoful german Immanuel Kant, apoi preluat de astronomul francez Pierre Simon, marchiz de Laplace, în anul 1796. Laplace l-a dezvoltat matematic, obţinând explicaţia curentă a modului în care norul s-a prăbuşit în el însuşi. El a postulat că nebuloasa solară trebuie să se fi aflat într-o mişcare lentă de rotaţie, iar pe măsură ce materia imploda, viteza de rotaţie creştea – la fel cum un patinator care face piruete se învârteşte mai repede când îşi apropie mâinile de corp. Forţele centrifuge au împiedicat cea mai mare parte a materiei care se învârtea în plan în jurul Protosoarelui să cadă în steaua ce se năştea, dar cea mai mare parte a materiei din părţile de sus şi de jos ale planului s-a prăbuşit în Protosoare. Procesul a transformat norul fără formă într-un disc care se rotea rapid – ceea ce explică de ce toate planetele se află în acelaşi plan.

Nebuloasa solară a continuat să implodeze circa 100 de milioane de ani, transformându-şi energia potenţială gravitaţională în energie termică. În timp, centrul norului s-a încălzit şi s-a comprimat, formând Protosoarele. Temperaturile din interiorul acestui Soare nou-născut au crescut rapid la 2000 de grade Kelvin, în timp ce la capetele reci ale nebuloasei planetare temperatura abia dacă atingea nivelul ameţitor de 50 de grade Kelvin (circa -223°C). Această diferenţă de temperatură a dus la formarea micilor planete interioare pietroase şi a giganticelor planete exterioare gazoase. Pe măsură ce interiorul Sistemului Solar se încălzea, acele de gheaţă care existau de miliarde de ani s-au evaporat, lăsând în urmă numai materialele pietroase mai abundente care au format planetele de tip terestru şi centura de asteroizi. Între timp, cristalele de gheaţă au supravieţuit în partea exterioară mai rece a nebuloasei care se contracta, unindu-se şi formând planetele gigantice care sunt acum bogate în astfel de materiale, ca amoniacul şi metanul.



DREAPTA **Naveta spaţială americană, primul avion spaţial reutilizabil, a schimbat modul în care oamenii şi sateliţii erau lansaţi în spaţiu. Acum, companii private planifică zboruri spaţiale, iar în deceniile care vin am putea vedea o misiune cu echipaj uman trimisă către Marte.**

Dezvoltarea Sistemului Solar a dus la formarea a patru planete de tip terestru şi a câtorva zeci de obiecte cereşti de dimensiunea Lunii. Firele de praf din nebuloasa planetară s-au ciocnit timp de milioane de ani, iar forţele electrice şi gravitaţionale le-au unit în pietre şi stânci, apoi, după circa un miliard de ani, în planetoizi de aproximativ 10 km în diametru. Planetoizii erau destul de mari pentru a exercita atracţie asupra vecinilor lor şi a începe să se ciocnească unul de altul, formând împreună proto-planete. Sistemul Solar era foarte risipitor în această perioadă, deoarece de fiecare dată când o proto-planetă atrăgea un planetoid, existau şanse de 50% fie să îl absoarbă, fie să îl smulgă atracţiei gravitaţionale a Sistemului Solar.



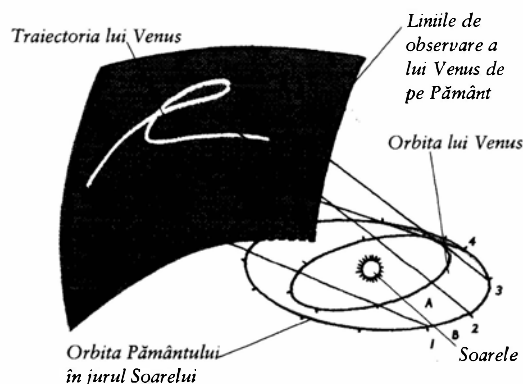
NICOLAUS COPERNICUS
1473–1543
Copernic a fost primul astronom care a înţeles că Pământul se roteşte în jurul Soarelui împreună cu celelalte planete.

PANTEONUL PTOLEMEIC

Pentru primii astronomi, numai zeul cel mai puternic se afla în cer. În afara Soarelui, a stelelor fixe şi a Lunii, ceilalţi companioni ai Pământului erau zeităţile rătăcitoare Mercur, Venus, Marte, Saturn şi regele Jupiter. Un alexandrin numit Ptolemeu, unul dintre cei mai mari astronomi ai antichităţii, a fixat Pământul în centrul panteonului său planetar, aproximativ în anul 140. Raţionamentul său era simplu. Era evident că zilnic Luna înconjura Pământul, aşa cum şi Soarele părea să o facă, şi atunci de ce stelele rătăcitoare s-ar comporta diferit? Micile sub-orbite ale planeteler, numite epicicluri, ar putea fi folosite pentru a explica ciudatele bucle pe care le făceau planetele în drumul lor.

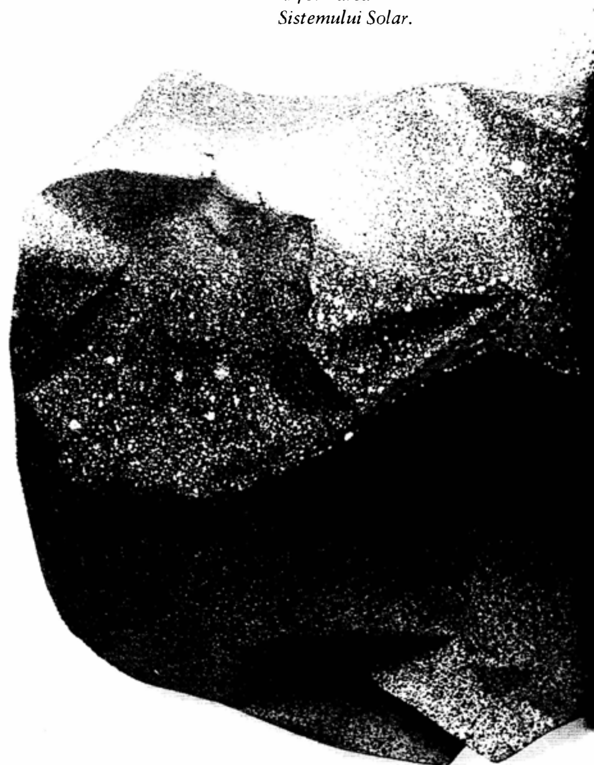
Sistemul lui Ptolemeu a fost până la urmă trimis la lada de vechituri a teoriilor ştiinţifice, iar despre stelele rătăcitoare – inclusiv Pământul – se ştie acum că se rotesc în jurul Soarelui. Mai mult, se ştie acum că sistemul heliocentric conţine peste 70 de Luni (sateliţi) şi planete, 3450 de asteroizi detectabili şi nenumărate comete printre ele, care formează un halou în mişcare al sistemului. Este mare aglomeraţie în el, încât au fost epuizate chiar şi numele zeilor mici pentru denumirea planetelor.

CALEA UNUI PLANETE



SUS **Deoarece planeta Venus este mai apropiată de Soare decât Pământul, din când în când pare să facă bucle pe cer. Numerele corespunzătoare din diagramă arată unde se află Venus faţă de Pământ la diferite puncte de pe orbita sa.**

Asteroizii sunt bucăţi de piatră rămase de la formarea Sistemului Solar.



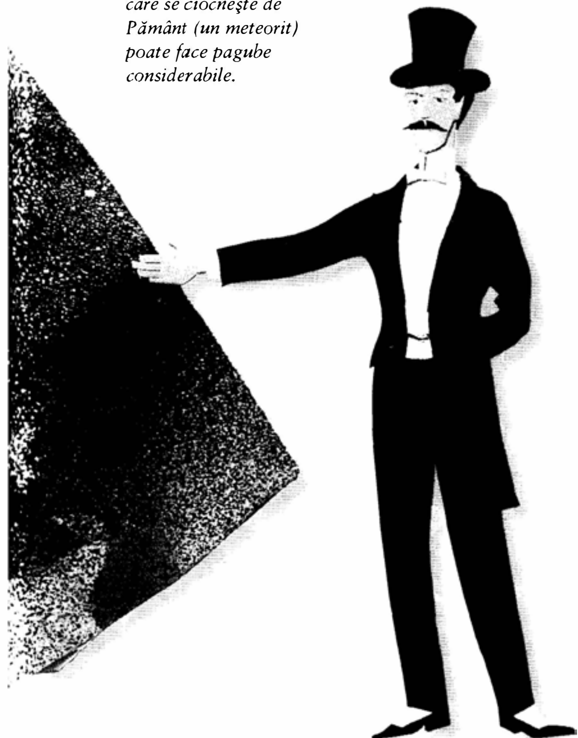
Un milion de asteroizi au peste un kilometru în diametru.

Trecerea de la câţiva „zei" care se roteau în jurul Pământului la un Sistem Solar aglomerat, cu variate lumi fantastice, s-a produs în salturi, odată cu progresul tehnologic care a făcut totul posibil. Panteonul ptolemeic al celor numai cinci planete a durat până la sfârşitul Renaşterii, când a apărut mai întâi concepţia actuală asupra cerului.

UN PĂMÂNT ROTITOR

Bomba ştiinţifică a fost amorsată de Nicolaus Copernicus (sau Copernic), cleric şi savant polonez. Născut în anul 1473, a renunţat la educaţia juridică şi medicală pentru a se concentra asupra pasiunilor sale principale, astronomia şi matematica. Până când a ajuns la maturitate, devenise deja o binecunoscută autoritate în astronomie. El a preluat concepţia ptolemeică asupra Universului şi a început să susţină ideea că era sferic, iar mişcările tuturor corpurilor cereşti trebuie să fie compuse din mişcări circulare uniforme.

Chiar şi un mic asteroid care se ciocneşte de Pământ (un meteorit) poate face pagube considerabile.



SUS **Există sute de mari bucăţi de rocă în Sistemul Solar care înconjoară Soarele, numite asteroizi. Unele sunt de dimensiunea unui om, iar altele sunt mult mai mari – cea mai mare, Ceres, are diametrul de 1000 km.**

Totuşi, el a susţinut în mod crucial că mişcarea aparentă a Soarelui în jurul Pământului poate reprezenta la fel de bine mişcarea Pământului în jurul Soarelui. Raţionamentul său a fost că rotaţia zilnică a sferelor cereşti ale stelelor în jurul Pământului poate fi explicată presupunând că Pământul se roteşte în jurul unei axe fixe, în timp ce sfera cerească respectivă este staţionară. Criticii săi au fost alarmaţi de această idee – oare nu cumva Pământul care se roteşte zilnic în jurul axei sale s-ar putea dezintegra? Răspunsul lui Copernic a fost foarte elegant. A răspuns că deşi o astfel de mişcare ar putea dezintegra planeta, mişcarea şi mai rapidă care ar fi necesară pentru a roti zilnic cealaltă sferă cerească în jurul Pământului – aşa cum presupunea cealaltă ipoteză – ar provoca dezastre mult mai mari.

Copernic şi-a publicat ideile în anul 1543, chiar anul morţii sale, dar în acel moment teoria sa era numai una dintre multe altele. Nu exista vreo dovadă pentru a o confirma sau a o infirma, deci potenţialul său exploziv a rămas nematerializat timp de peste jumătate de secol.

STELE CĂZĂTOARE, ASTEROIZI ŞI COMETE

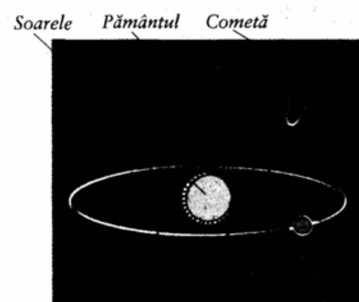
Sistemul Solar nu şi-a încheiat evoluţia, deoarece procesul formării planetelor nu se încheie niciodată. Mai există încă o mulţime de materie primă împrăştiată peste tot, ceea ce aproape că-l face periculos, dar care însă umple cerul cu aranjări uimitoare.

Acum sunt cunoscuţi circa 3450 de asteroizi detectabili, aruncaţi în ograda noastră cosmică. Mulţi sunt adunaţi între Marte şi Jupiter, dar câţiva rătăcesc prin sistem. Odată la 100000 de ani, unul destul de mare pentru a ucide o întreagă ramură evolutivă se ciocneşte de atmosfera Pământului. Odată la 100 de ani, unul destul de mare pentru a distruge un oraş explodează în atmosferă sau se ciocneşte de Pământ, formând un crater la suprafaţa acestuia. Până acum am avut noroc – niciun oraş nu a fost distrus de impactul cu un asteroid – dar acest lucru s-ar putea întâmpla foarte uşor.

Şi cometele au un potenţial ucigător. Formând un halou roind la distanţă de Soare, uneori se apropie de el destul de tare pentru a se înfierbânta şi a pierde tone de vapori într-o coadă care se întinde în urma lor – ceea ce le dă un aspect maiestuos timp de multe luni, depăşind astfel cu mult starea lor normală din Sistemul Solar. Uneori se apropie de Soare prea mult şi nu se mai întorc niciodată. Alteori rămân fără gazul şi gheaţa care le dau energie şi devin ceva mai mari ca asteroizii, deplasându-se pe orbite excentrice. Carierele lor strălucitoare în interiorul Sistemului Solar sunt scurte. Multe dintre ele aşteaptă miliarde de ani în îndepărtatul nor de comete Oort, ce înconjoară Soarele, înainte de a brăzda cerul.

Unele comete îşi încheie existenţa ciocnindu-se de Soare sau fiind dezintegrate de uriaşele forţe mareice ale lui Jupiter – aşa cum s-a întâmplat cu cometa Shoemaker-Levy 9 în anul 1994. Dar altele rezistă mai mult pe cer, păstrând o distanţă precaută faţă de Soare şi Jupiter. Cometa Halley dă un spectacol variabil la fiecare 76 de ani, iar cometa Encke îşi face numărul plicticos la fiecare 3,3 ani. Până când ajung să traverseze orbita Pământului, împrăştie întotdeauna gaze şi praf. Pământul traversează în fiecare an asemenea centuri de praf, iar praful care intră în straturile superioare ale atmosferei arde în ploi meteorice care, la scurt timp după vizita unei comete, pot umple cerul de stele căzătoare.

MESAGERI FIERBINŢI



SUS **Cometele sunt doar mingi de gheaţă care din când în când se rotesc către Soare dinspre capetele exterioare ale Sistemului Solar. Pe măsură ce se apropie de Soare, capătă în spatele lor o spectaculoasă coadă strălucitoare.**



HANS LIPPERSHEY
1570–1619
Lippershey este opticianul olandez creditat cu inventarea telescopului în anul 1608 – legenda spune că ideea l-a venit văzându-şi copiii care se jucau în prăvălia lui, încercând să privească prin două lentile simultan.

FITILUL APRINS

În anul 1608, Hans Lippershey, optician şi creator de spectacole olandez, a creat telescopul cu refracţie. Guvernul olandez a încercat să ţină secretă vestea invenţiei – atât de mare era potenţialul ei militar – dar, din fericire, fără succes. Vestea a ajuns la Galileo Galilei, astronom italian. După un an şi fără a fi văzut vreodată un telescop asamblat, el l-a transformat într-un instrument pentru a schimba modul de a gândi al lumii.

Îndreptând lentilele către cer, Galilei a oferit dovada care a detronat Pământul din poziţia sa de centru al Universului. În anul 1610, a publicat ceea ce văzuse într-un mic volum, numit *Mesagerul Sideral*, şi a uimit lumea. El a dat informaţii despre stelele care erau prea puţin strălucitoare pentru a fi văzute şi a dezvăluit că ceaţa nebuloasă a Căii Lactee şi alte caracteristici similare erau numai concentrări dense ale unor stele îndepărtate.

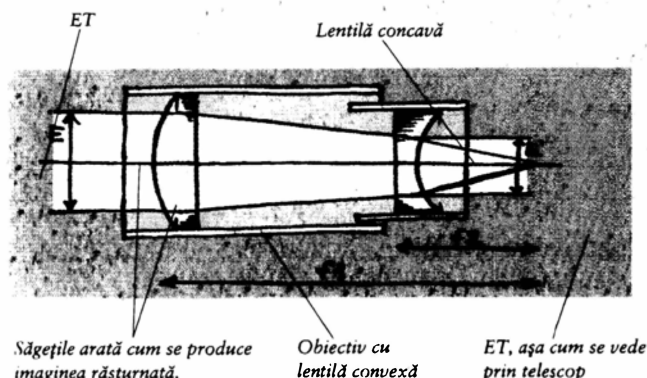
Cel mai important lucru, probabil, este că a descoperit patru sateliţi rotindu-se în jurul lui Jupiter. Ultima sa descoperire a demontat o concepţie pe care s-au bazat adepţii lui Ptolemeu pentru a submina ideile lui Copernic – deoarece au susţinut că dacă Pământul era în mişcare, Luna ar rămâne în urmă fiindcă nu ar putea ţine pasul cu o planetă care se deplasează atât de repede. Galilei a arătat că un centru al deplasării, Jupiter, putea să se afle în mişcare fără a pierde sateliţii care gravitau în jurul lui.

Principala confirmare a teoriei copernicane a fost reprezentată, totuşi, de observaţiile lui Galilei asupra fazelor lui Venus. Folosind puterile mai bune de observare ale telescopului său, Galilei a văzut că Venus trece prin faze asemănătoare cu ale Lunii, de la „nouă" la „în creştere", apoi la „plină". Pentru a explica acest lucru, Venus trebuia să se afle uneori în spatele Soarelui şi alteori între Pământ şi Soare. Deoarece aceste realităţi erau ireconciliabile cu modelul lui Venus orbitând în jurul Pământului, au dus până la urmă la moartea teoriei lui Ptolemeu. Aşa cum Galilei a scris într-o scrisoare datată în anul 1615, „după studiile mele de astronomie şi filosofie, îmi menţin părerea despre Univers, aceea că Soarele este fix în centrul cercului corpurilor cereşti, fără a-şi schimba locul, iar Pământul, rotindu-se în jurul său, se roteşte în jurul Soarelui".



SUS DREAPTA **Ca şi bilele unui jongleur, planetele înconjoară Soarele pe aceeaşi orbită, rămânând mereu în echilibru între atracţia gravitaţională a Soarelui şi propria lor viteză, care încearcă să le facă să zboare către întunericul spaţiului.**

ET: MAI MARE DECÂT VIAŢA

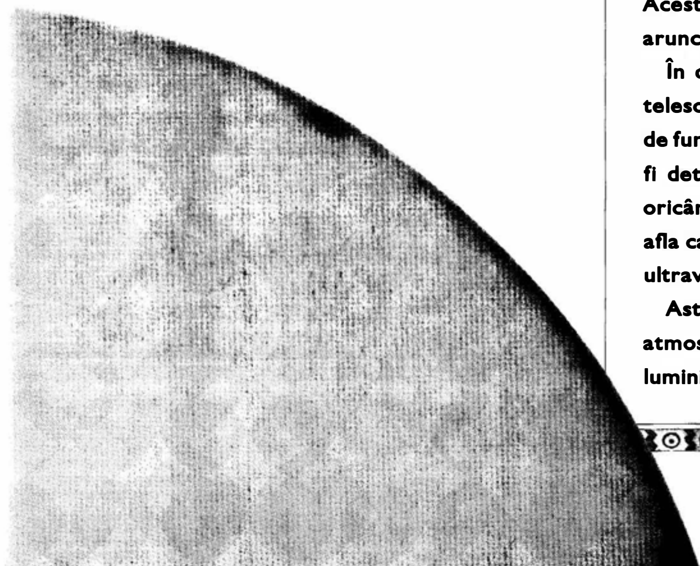


STÂNGA **Ca toate telescoapele astronomice, primele telescoape folosite de către Galilei arătau imaginile răsturnate. Telescoapele obişnuite folosite pe Pământ au o lentilă în plus pentru a răsturna din nou imaginea în poziţia normală.**

În anul 1616, Galilei a fost somat să-şi schimbe opiniile de către Biserică, care continua să susţină că sistemul ptolemeic era corect. Dar Galilei nu a cedat, iar până la urmă demolarea completă a vechii teorii l-a convins pe Papă că Galilei îl ridiculiza. El a pus astronomul la dispoziţia Inchiziţiei, acuzându-l de erezie. Galilei fost judecat în anul 1632, când avea 69 de ani, şi a fost forţat să se dezică public de ideile sale.

Galilei şi-a petrecut restul zilelor în închisoare, dar în ciuda acţiunilor retrograde disperate ale Bisericii, fusese câştigată una dintre cele mai mari bătălii ştiinţifice. Până la sfârşitul secolului, teoria sistemului heliocentric al lui Copernic a ajuns să domine gândirea ştiinţifică, iar Soarele „a ajuns să aibă" de două ori mai mulţi copii decât la începutul secolului. Galilei a descoperit patru sateliţi ai lui Jupiter (Callisto, Europa, Ganimede şi Io), Christiaan Huygens descoperise Titan, cel mai mare satelit al lui Saturn, în anul 1655, iar de-a lungul a 30 de ani, misiunea Cassini a mai descoperit încă patru sateliţi în jurul lui Saturn.

JOS **Titan, cel mai mare satelit al lui Saturn, a fost una dintre multele descoperiri făcute după ce astronomii au început să privească cerul nopții prin telescoape. A fost detectat de Christiaan Huygens în anul 1655.**



FERESTRE SPECTRALE ASUPRA ALTOR LUMI

Pentru a avea într-adevăr o bună imagine asupra spațiului, ar trebui să vă aflați chiar acolo sus. Nu numai fiindcă ați fi mai aproape – acest lucru nu ar conta aproape deloc pe scala lucrurilor – ci pentru că ați scăpa de cele zece tone de vârtejuri de gaze aflate imediat deasupra dumneavoastră, gaze ce filtrează și distorsionează selectiv lumina din Univers. A fost esențial pentru evoluția vieții ca atmosfera să blocheze cea mai mare parte din emisiile cosmice nocive din spectrul electromagnetic, dar acest lucru nu ajută studiile astronomice. O mare comoară de informații rămâne ascunsă la diferite altitudini deasupra noastră, fără a ajunge vreodată la telescoapele de la sol.

Fiecare parte a spectrului dezvăluie o nouă dimensiune a Universului. Îndreptându-ne atenția spectrală asupra planetelor și a sateliților lor, am afla compoziția chimică a atmosferelor și suprafețelor acestora, deoarece diferitele molecule au propria semnătură spectrală.

Una dintre primele misiuni spațiale care a văzut emisiile blocate pe Pământ ale Universului a fost lansată în anul 1962 și organizată de o echipă condusă de Riccardo Giacconi, un astronom american. Zborul studia emisiile de raze X ale Lunii, provocate de impactul particulelor provenite de la Soare cu suprafața lunară. Nu a descoperit astfel de emisii, dar a observat un obiect nou și extrem de strălucitor (din punctul de vedere al razelor X), pe care l-a denumit Scorpius X-1.

Au urmat alte misiuni spațiale și telescoape spațiale orbitale pentru razele X, permițând astronomilor să vadă obiecte cu energie X ridicată, precum cuasarii și stelele duble compacte care produceau emisii masive de energie, necesară pentru a genera radiațiile X. După anii lungi ai prohibiției atmosferice, zeci de misiuni care studiază emisiile de radiații X își prezintă acum observațiile asupra acestei frecvențe, formând astfel unul dintre cele mai importante domenii ale astronomiei moderne.

Telescopul solar spațial SOHO, lansat la începutul anilor 1990, este menținut pe loc de o vale gravitațională în care gravitația Soarelui și cea a Pământului aproape că se anulează, permițându-i să stea în permanență între cele două corpuri cerești. Din punctul său de vedere unic și avantajos, telescopul observă Soarele, înregistrând lungimile de undă care nu ar ajunge niciodată la sol. Acestea arată cum freamătă și explodează turbulențele atmosferei solare, aruncând milioane de tone de materie în Sistemul Solar.

În ciuda viciului de proiectare a oglinzii de după lansarea din anul 1990, telescopul spațial Hubble s-a dovedit a fi un imens succes, astfel încât durata sa de funcționare a fost extinsă cu 10 ani. Deasupra atmosferei perturbatoare pot fi detectate lungimi de undă vizibile ale stelelor, cu claritate mai mare ca oricând, pot fi examinate miliarde de ani în lungimi de undă infraroșii pentru a afla care sunt cele mai vechi obiecte din Univers și pot fi recepționate emisiile ultraviolete ale unora dintre cele mai fierbinți corpuri cerești din Cosmos.

Astfel, epoca spațială le-a permis astronomilor să se ridice deasupra atmosferei și, folosind „ochi" care pot vedea mult dincolo de gama limitată a luminii vizibile, să deschidă noi ferestre spectrale asupra Universului.

Observare şi calcul

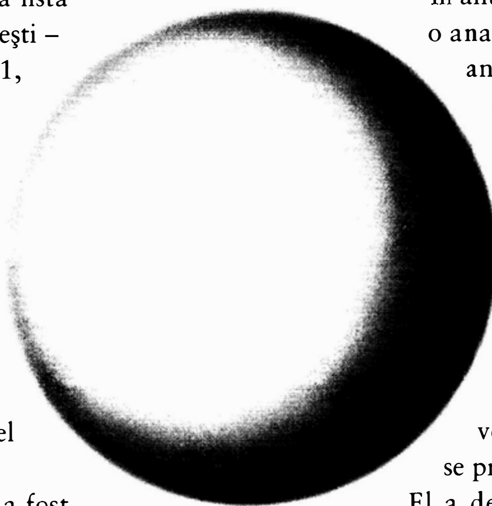
După ce ţintele mai uşoare au fost atinse de către telescop, s-a produs o încetinire în viteza descoperirilor până spre sfârşitul secolului XVIII, când William Herschel a adăugat la lista descoperirilor un total de cinci corpuri cereşti – inclusiv o nouă planetă. În martie 1781, muzicianul şi astronomul anglo-german a făcut o observare de rutină a cerului. Îndreptându-şi telescopul către constelaţia Gemenilor, a observat o stea care nu avea aspectul de punct al stelelor învecinate şi părea a fi un mic disc de lumină. El i-a urmărit mişcarea timp de săptămâni întregi, crezând că era o cometă, şi i-a desenat traiectoria aparentă – o orbită în apropiere de Saturn. Herschel descoperise planeta Uranus.

Neptun, care se află dincolo de Uranus, a fost descoperită în anul 1846, fără ca măcar să fi fost văzută. În timp ce Uranus a fost observată şi calculele au fost rafinate pentru a fi cât mai corecte, s-a observat un lucru ciudat – orbita sa nu respecta teoria gravitaţiei a lui Newton. Chiar acceptând existenţa efectelor gravitaţionale perturbatoare ale lui Jupiter şi ale lui Saturn, s-a descoperit că Uranus nu se deplasa pe o orbită care să fie conformă cu observaţiile anterioare. Doi matematicieni, John Couch Adams şi Urbain Jean Joseph Leverrier, s-au ocupat în mod independent de această problemă şi au speculat că trebuie să fie vorba de o a opta planetă, ascunsă, care afectează orbita lui Uranus.

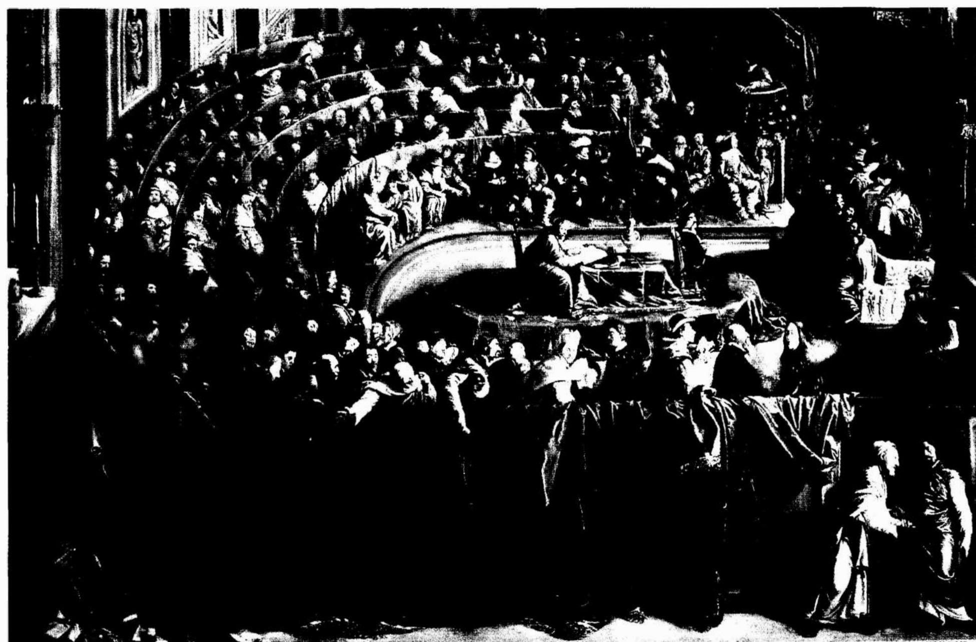
În anul 1843, Adams, un tânăr englez, a început o analiză a perturbaţiilor lui Uranus. După doi ani, el a prezentat anticiparea poziţiei noii planete la Astronomer Royal. El a avut dreptate, însă a greşit cu două grade: o aruncătură de băţ pe cer. Fără să ştie de cercetările lui Adams, matematicianul francez Leverrier a făcut acelaşi lucru în anul următor. El i-a trimis rezultatele obţinute lui Johann Galle de la Observatorul din Berlin, iar în câteva ore de la primirea scrisorii, Galle a comparat vechile hărţi ale regiunii Vărsătorului, unde se preconiza existenţa planetei, cu cerul nopţii. El a descoperit planeta la un grad distanţă de poziţia anticipată de Leverrier.

Este posibil ca Galilei să fi văzut dinainte această planetă. Istoricii astronomiei au calculat că Neptun se află în spatele liniei de observare a lui Jupiter în anul 1613, la câţiva ani după ce Galilei descoperise lunile galileice ale planetei.

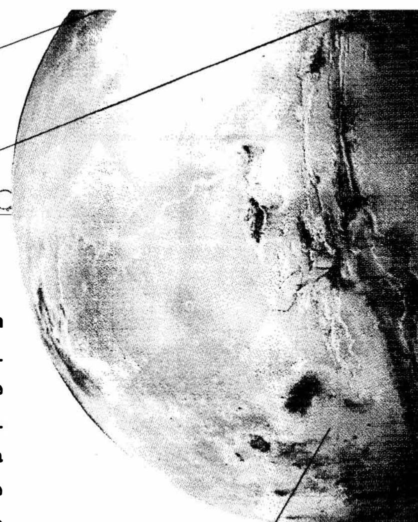
Însemnările lui Galilei arată că el chiar văzuse o stea mişcătoare – dar nu şi-a dat seama care era semnificaţia celor văzute.



SUS **Timp de mii de ani, astronomii au crezut că există numai cinci planete. Apoi, în anul 1781, William Hershel a descoperit încă una în spatele lui Saturn: planeta Uranus.**



STÂNGA **Observaţiile lui Galilei asupra fazelor lui Venus şi asupra sateliţilor lui Jupiter au oferit nişte confirmări atât de puternice ale descoperirii lui Copernic, conform căreia Pământul nu se află în centrul Universului, ci se roteşte în jurul Soarelui, încât Galilei a fost adus în faţa unui tribunal papal. Sub presiunile puternice ale bisericii, el s-a dezis până la urmă de propriile idei.**





APĂ PE PLANETA ROȘIE

În anul 1938, marțienii erau pe cale să invadeze Pământul. Adaptarea radio realistă a lui Orson Welles după *Războiul Lumilor* a îngrozit mii de locuitori din New Jersey, făcându-i să creadă că Pământul era sub asediu interplanetar. Era foarte ușor de înțeles așa ceva: încă din secolul XIX, observațiile astronomului Schiaparelli asupra canalelor de pe Marte au fost greșit interpretate ca fiind construite artificial, iar ideea că există viață pe o planetă locuibilă și-a făcut loc în mintea omului obișnuit.

La începutul secolului XX, Percival Lowell, un astronom american, a speculat că aceste canale sunt o rețea de apeducte create de o rasă extraterestră pentru a transporta puțina apă prețioasă pe planeta în curs de uscare. El nu avea dreptate în privința vieții inteligente, deoarece zborul de observare Mariner 9 din anul 1971 nu numai că nu a văzut civilizații extraterestre, dar a dezvăluit că acele canale erau imense canioane naturale. Nu erau formate prin eroziunea apei, ci de bucățile solide de crustă care ieșeau în afară sub influența unor presiuni imense. Dar Lowell a avut dreptate în privința uscării planetei.

De când naveta spațială Viking a ajuns pe Marte în anul 1976 și a descoperit că planeta este uscată, a persistat un mister legat de Marte. În principiu, atmosfera ei este prea subțire și rece pentru ca să existe apă lichidă la suprafață. Dacă lumina solară ar încălzi o calotă de gheață marțiană, gheața nu s-ar transforma în apă, ci s-ar evapora pur și simplu, deoarece presiunea de la suprafață este prea mică pentru a împiedica moleculele să se îndepărteze, formând un gaz.

Totuși, pe măsură ce zborurile de observare Mariner în cursul misiunilor ulterioare adunau imagini de la suprafață, a apărut dovada clară: cândva suprafața marțiană era brăzdată de râuri. Imaginile Mars Surveyor din anul 1997 chiar înfățișau depresiuni care indicau că apa de la suprafață a stat în lacuri destul timp pentru a afecta geografia planetei – dar nu exista vreo dovadă că ar fi existat viață acolo.

Nu numai dovezile sugerează existența râurilor pe planetă, dar și semnele de inundare care arătau că volume uriașe de apă s-au revărsat cândva pe suprafață, în inundații catastrofale. Acestea au pus în mișcare tone de roci pe toată planeta. Robotul Sojourner a investigat conținutul lor de minerale când a ajuns la o deltă aluvionară în anul 1997.

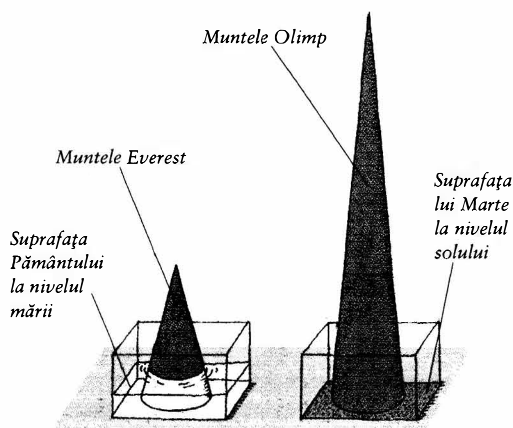
Marte fusese o planetă umedă cu milarde de ani în urmă – dar cum a fost posibil? Apa s-ar fi transformat direct în vapori, însă nu există prea multă apă în atmosfera marțiană actuală, care conține numai 0,03 la sută apă.

Se pare că în urmă cu patru miliarde de ani, Marte era o planetă ospitalieră, caldă și confortabilă, având o atmosferă groasă. Se crede că dioxidul de carbon din aer a provocat un efect de seră care a încălzit planeta. Apa lichidă ar fi fost stabilă pe suprafață, sub această atmosferă groasă și caldă, și ar fi putut crea formele de relief vizibile azi.

Din nefericire, Marte este prea mică pentru putea menține o asemenea atmosferă groasă. Deoarece moleculele de gaz sunt atinse de lumina ultravioletă în partea superioară a planetei, unele se descompun în atomii componenți, iar aceștia au destulă energie pentru a scăpa din câmpul gravitațional marțian. Vaporii de apă din straturile superioare ale atmosferei s-ar fi descompus astfel, eliberând hidrogen, care apoi ar fi scăpat în spațiu. Atmosfera planetei s-a prelins în spațiu în câteva milioane de ani, odată cu aproape toată apa dispărând și izolația pe care o oferea atmosfera. În consecință, planeta a devenit un loc înghețat și aparent uscat.

Totuși, studiul efectuat de nava orbitală Express în anul 2003 a dezvăluit o mare subterană de gheață. Doi roveri (roboți) NASA au ajuns pe planetă în anul următor. Au găsit noi dovezi ale apei de la suprafață printre minerale, dar tot nu au găsit semne de viață.

MUNȚII DE PE MARTE



SUS **Cel mai înalt munte de pe Marte este de trei ori mai înalt decât Everestul – chiar dacă înălțimea Everestului este măsurată de la punctul cel mai de jos de pe suprafața Pământului, până la fundul Oceanului Pacific.**





CUM S-A FORMAT LUNA?

Până în anii 1970, era o lipsă aproape totală de consens între geologi şi astronomi în privinţa originii Lunii, despre care existau mai multe teorii. Prima, teoria fisiunii, susţinea că Pământul s-a învârtit în jurul său atât de violent încât imensele forţe centrifuge au desprins din planetă materia din care este alcătuită Luna. Altă idee populară a fost că Luna era un nomad rătăcitor în fazele timpurii ale Sistemului Solar şi a fost captată de gravitaţia Pământului. Altă teorie susţine că Luna s-a format din nebuloasa solară în acelaşi timp cu Pământul. Totuşi, niciuna dintre aceste teorii nu corespunde prea bine cu realitatea.

Pământul, pur şi simplu, nu se putea roti atât de repede pentru ca teoria fisiunii să funcţioneze. Dacă momentul unghiular al Lunii ar fi pus înapoi în Pământ, planeta combinată ar avea o zi cu opt ore mai lungă – dar pentru a separa Luna de Pământ ar fi trebuit să se rotească cel puţin o dată la două ore.

Misiunile Apollo din 1969 până în 1972 au oferit informaţii care au alimentat o nouă idee. Rezultatele geologice din mostrele de roci indicau că Luna şi Pământul provin într-adevăr dintr-un rezervor comun de materie. Mostrele conţineau izotopi ale anumitor elemente care puteau fi folosite ca markeri pentru a determina originile comune ale materiei. Izotopii mai grei ai elementelor au numere diferite de neutroni faţă de semenii lor comuni, iar diferenţa de masă îi poate separa în procese fizice ca implică gravitaţia. Deşi materia care a format Pământul şi Luna poate să fi provenit din aceeaşi nebuloasă proto-planetară, dacă ar fi parcurs trasee drastic diferite pentru a ajunge aici, acest lucru s-ar fi văzut în raporturile diferite ale izotopilor faţă de elemente.

Mostrele de roci aduse de misiunile Apollo au arătat geologilor un izotop de oxigen a cărui compoziţie era foarte similară rocilor de pe Pământ: semnăturile chimice se potriveau, ceea ce arată că au un strămoş comun. Această idee a demontat teoria captării Lunii în câmpul gravitaţional al Pământului. Rezultatele misiunii Apollo au arătat şi că Luna era aproape complet lipsită de fier, în comparaţie cu Pământul, demontând teoria fisiunii. De fapt, compoziţia Lunii avea mai multe în comun cu scoarţa terestră decât compoziţia generală a planetei, care includea miezul de fier, deci era oare posibil ca Luna să se fi format dintr-o parte a crustei terestre?

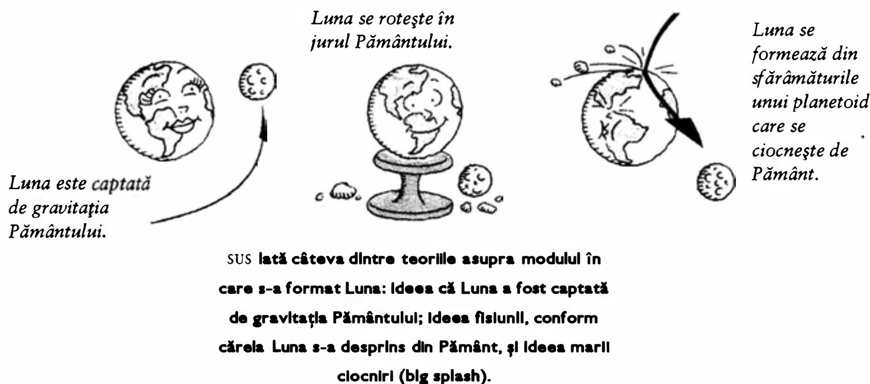


SUS Încă nu este foarte clar cum s-a format Luna. Oare s-a desprins din Pământ, sau a fost captată în câmpul său gravitaţional?

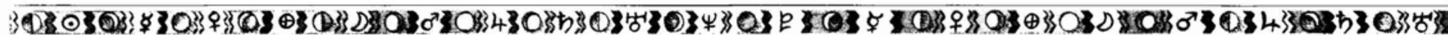
După misiunile Apollo, o nouă teorie, mai violentă, a fost supusă dezbaterii ştiinţifice: teoria marii ciocniri (big splash). Ea explică modul în care materia a venit de pe Pământ şi astfel este atât de săracă în metale. Se crede că la un moment dat din trecut, un planetoid imens s-a ciocnit de Pământ, împrăştiind o sută de milioane de tone de materie din mantaua săracă în metale a Pământului (regiunea de la 2900 km adâncime conţinând miezul bogat în fier). Se crede că furtuna de fragmente rezultată în jurul Pământului a dus la formarea Lunii.

În anul 1997, cercetătorii au testat teoria marii ciocniri într-o simulare pe computer şi au descoperit, spre surprinderea lor, că era necesar un planetoid de trei ori cât planeta Marte ca să împrăştie destulă materie pentru a forma Luna. Această ciocnire ar fi trebuit să fie atât de violentă încât ar pune în umbră alte ciocniri cu asteroizii din istoria Pământului – întrecând cu mult ciocnirea acuzată de dispariţia dinozaurilor. Deci Luna ar putea fi un rest al unui eveniment care aproape a distrus planeta noastră.

TEORIILE PRIVIND FORMAREA LUNII



SUS Iată câteva dintre teoriile asupra modului în care s-a format Luna: ideea că Luna a fost captată de gravitaţia Pământului; ideea fisiunii, conform căreia Luna s-a desprins din Pământ, şi ideea marii ciocniri (big splash).





SUS **Unii oameni sunt ferm convinşi că extratereştrii există. Aceasta este o imagine a capului şi torsului unui extraterestru care se crede că ar fi fost autopsiat după ce un OZN s-ar fi prăbuşit pe un câmp din Roswell, S.U.A., în anul 1947.**

DREAPTA **Desenele înfăţişând extratereştri pe care oamenii pretind că i-ar fi văzut sunt adesea remarcabil de asemănătoare, cu capete mari fără păr, ochi imenşi şi corpuri mici, aproape de dimensiunile unui foetus.**



PERCY LOWELL

1855–1916

Astronomul american Lowell a văzut nişte şanţuri pe suprafaţa lui Marte despre care era convins că erau canale construite de către marţieni.

NOROC SAU RAŢIONAMENT?

Despre Pluton, denumită după zeul lumii subterane, se credea la început că este a noua planetă. Însă s-a observat că încă mai există ceva neexplicat în mişcările lui Uranus şi Neptun, sugerând că mai exista o planetă. Totuşi, matematicienii nu au putut folosi mişcarea lui Neptun pentru a o localiza, deoarece se deplasează prea lent – din perspectiva noastră – adică distanţa cu care s-a deplasat planeta de la descoperirea ei era prea mică pentru a oferi date adecvate. Uranus a continuat să se mişte, dar neregularităţile din orbita ei erau infime.

Percival Lowell, faimos pentru speculaţiile despre viaţa inteligentă pe Marte, a fost astronomul care a rezolvat problema la începutul secolului XX. Din micile perturbaţii ale lui Uranus, el a calculat două locaţii posibile pentru planetă şi i-a calculat şi masa – aproximativ de 6,6 ori masa Pământului. Totuşi, ambele calcule s-au dovedit a fi complet greşite, iar Lowell a scotocit nefericit cerul în căutarea planetei, din anul 1906 până la moartea sa, în anul 1916.

Totuşi, în februarie 1930, astronomul Clyde Tombaugh a comparat două fotografii făcute de un telescop donat observatorului Lowell de către fratele lui Lowell şi a văzut un punct rătăcitor de lumină la şase grade de poziţia anticipată de Lowell. Găsise planeta Pluton.

Însă de curând Pluton a fost scoasă de pe lista planetelor. Pluton are o masă mai mică decât Luna şi este prea mică pentru a explica peturbaţiile observate în orbitele lui Uranus şi Neptun. Timp de decenii, astronomii au presupus că o mai mare Planetă X se află nedescoperită, mult dincolo de Pluton.

În anul 1983, IRAS, o misiune astronomică de orbitare în infra-roşu, a eliminat posibilitatea de a mai găsi alte planete. Scanând de două ori tot cerul în infraroşu şi comparând imaginile, au fost identificate toate obiectele cereşti aflate în mişcare. Acum este acceptat faptul că, în locul unei singure planete, efectele gravitaţionale sunt provocate de o bandă de mii de pietre spaţiale asemănătoare asteroizilor. Banda este denumită Centura Kuiper. Pluton a fost primul obiect ceresc observat al centurii, dar acum se pare că nici măcar nu este cel mai mare. Această onoare îi revine lui Eris, care a fost descoperit în anul 2005. Eris şi Pluton sunt acum considerate planete pitice, dar este posibil să nu fie singurele. Satelitul mare al lui Pluton, Charon, este un candidat la acest statut, aşa cum sunt şi asteroizii mai mari, precum Ceres.

SPECULAŢIE ŞI FRUSTRARE

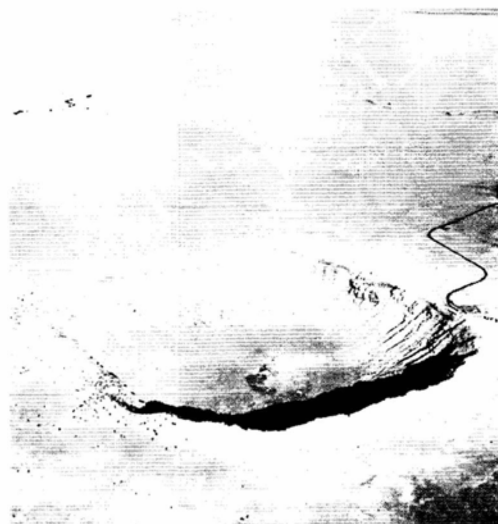


La începutul secolului XX, Lowell era unul dintre promotorii unui alt tip de speculaţie ştiinţifică despre planete: ce vârste aveau, din ce erau alcătuite şi ce – sau cine – trăia pe ele.

Discuţiile despre viaţa extraterestră au început în anul 1877, când astronomul italian Giovanni Schiaparelli a dezvăluit descoperirea unor linii subţiri pe Marte, pe care le-a denumit conducte. El voia să spună canale, dar traducerea cuvântului avea sensul că apăruseră artificial, pentru că le-ar fi săpat o formă de viaţă inteligentă. În timpul carierei sale, Lowell a susţinut această idee, promovând cu convingere teoria că o specie inteligentă de pe Marte construise canale masive pentru a transporta apa de la calotele polare vizibile, despre care s-a presupus că sunt din gheaţă, într-un efort zadarnic de a combate deteriorarea climatică a unei planete tot mai ostile.

Alte întrebări mai puţin senzaţionale, dar importante, despre planete se refereau la originile lor, compoziţie şi condiţiile de la suprafaţă. Observaţiile prin telescop sugerau că Luna, Marte şi Mercur erau singurele corpuri cereşti care aveau munţi şi mari zone întunecate sau „mări“ care puteau fi oceane cu lavă vulcanică străveche. Telescoapele nu puteau atinge fizic Luna sau planetele, totuşi, şi nu am putea spune dacă suprafaţa vecinului nostru cel mai apropiat era din piatră tare sau era o serie de oceane înconjurate de munţi sau dacă era formată din praf fin care ar

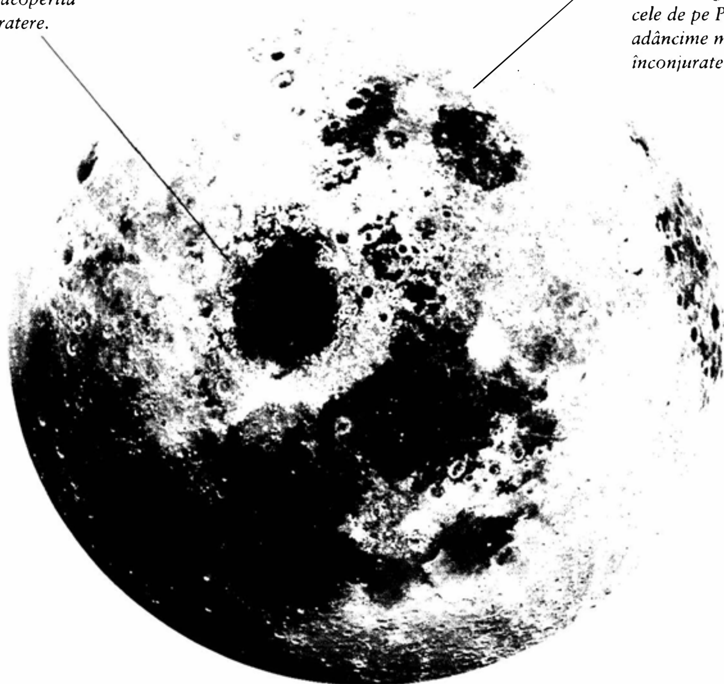
putea înghiţi o navă spaţială. Telescoapele de rezoluţie scăzută de pe Pământ şi gama mică de frecvenţe care penetrau atmosfera făceau imposibilă observarea detaliată. Era necesară o cale de a depăşi limitările observaţiilor de pe Pământ. Apariţia noilor tehnologii a dus la o explozie de descoperiri.



SUS **Suprafaţa schimbătoare a Pământului ne duce la concluzia că foarte puţine cratere formate prin impacturi meteorice supravieţuiesc timp îndelungat. Acesta este unul dintre cei mai mari – craterul meteoritului Winslow din Arizona, S.U.A.**

Date despre cratere

Misiunea rusă Luna 2, lansată în anul 1959, este înregistrată ca fiind prima explorare cu succes din Epoca Spaţială. Era începutul a peste 40 de misiuni spaţiale ruseşti şi americane către Lună, captând imagini ale feţei sale ascunse, izbindu-se – sau aselenizând violent, ca să ne exprimăm eufemistic – de suprafaţa ei, trimiţând rovere (roboţi) pe ea şi culminând cu misiunile Apollo cu echipaj la bord. Fiecare misiune încununată de succes a îmbunătăţit înţelegerea despre vecinul Pământului cel mai apropiat din spaţiu şi a ajutat la dezlegerea câtorva mistere planetare.



Suprafaţa Lunii este acoperită de cratere.

Craterele de pe Lună sunt diferite din punct de vedere geologic de cele de pe Pământ, cu adâncime mică, largi şi înconjurate de munţi.

JOS **Nefiind protejată de o atmosferă şi fără a trece prin schimbări geologice, suprafaţa Lunii poartă cicatricele a mii de impacturi cu meteoriţii.**

Unele dintre caracteristicile cele mai misterioase ale Lunii erau foarte vizibile de pe Pământ: craterele sale. Iniţial, se credea că sunt de natură vulcanică, la fel ca majoritatea craterelor vizibile de pe Pământ. Întrucât craterele de impact vizibile sunt rare pe Pământ, cei mai mulţi geologi lunari au raţionat că ele nu sunt o caracteristică majoră a Lunii.

Însă nu toţi geologii au fost de acord. G. K. Gilbert, un savant de la US Geological Survey din anii 1890, a atras atenţia asupra faptului că cele mai mari cratere ale Lunii – cu aspect de munte pe margini şi cu funduri care adesea se află sub nivelul câmpiilor din jur – sunt foarte diferite de craterele vulcanice ale Pământului. Acestea sunt în general mai mici, mai adânci şi aproape întotdeauna apar în vârfurile conurilor vulcanice. Gilbert credea de aceea că natura craterelor lunare nu era vulcanică, ci erau de fapt cratere de impact. Dar exista o obiecţie asupra acestei idei.

Pe Lună nu există cratere eliptice, iar această simetrie circulară punea o problemă. Dacă aruncaţi pietre într-o groapă cu nisip, ele formează gropi eliptice, nu rotunde, deoarece lovesc nisipul oblic. Asteroizii şi corpurile cereşti similare, în mod normal, lovesc şi ele Luna sub unghiuri oblice. Soluţia acestei probleme a fost obţinută prin studii comparative ale craterelor bombelor şi obuzelor, care sunt întotdeauna aproape circulare, indiferent de unghiul de impact al proiectilului. Un asemenea crater nu este creat în urma impactului, ci de explozia ce-i urmează.

Atracţia gravitaţională a Lunii accelerează întotdeauna corpurile care se ciocnesc de ea la cel puţin 2,4 km pe secundă înainte de a atinge suprafaţa lunară. Impactul produs are atât de multă energie cinetică, încât materia explodează. Astfel, craterele Lunii sunt în măsură mai mică formate prin impact şi în mai mare măsură formate prin explozii, iar acest lucru îndepărta obiecţia principală asupra teoriei impactului. După ce s-a demonstrat că pe Lună craterele s-au format prin impacturi explozive, craterele au oferit un indiciu important asupra vârstei altor planete din Sistemul Solar.

Pe orice satelit sau planetă, terenul plin de cratere va părea întotdeauna mai vechi decât suprafeţele cu mai puţine cratere, deoarece a fost expus la

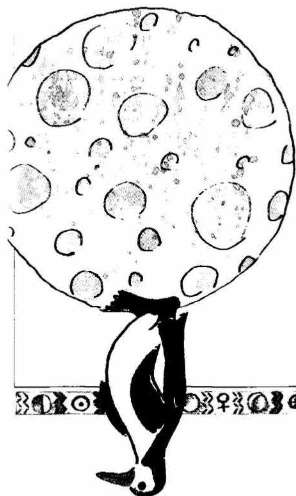
APĂ PE LUNĂ

Când misiunea Apollo a părăsit Luna în anul 1972, știam că Luna este o lume sterilă compusă din ceva mai mult decât roci de silicați, similare în compoziție cu cele ale Pământului, dar fără fier sau alte metale. Luna nu conține nici molecule volatile – nici apă, nici alte gaze – deoarece gravitația sa limitată nu are vreo șansă să rețină moleculele ușoare în timp ce suprafața i se încălzește peste punctul de fierbere în fiecare zi lunară.

Dacă nu ar fi fost această lipsă de molecule volatile, Luna ar fi putut deveni o bază utilă pentru explorarea restului Sistemului Solar. În mod curent, orice sondă, stație, modul spațial și orice astronaut trebuie să fie împinse în afara atracției gravitaționale a Pământului folosind lansatoare costisitoare. Nu numai asta, dar toate consumabilele și, chiar mai important, tot combustibilul necesar unei misiuni – adesea jumătate din masa navetei spațiale – trebuie lansate și ele pe orbită. Luna ar fi un loc mult mai bun pentru a pregăti asemenea misiuni, poate chiar pentru a produce componentele și a adăposti combustibilul la suprafața ei, la o fracțiune din costurile de pe Pământ. Gravitația ei, de șaisprezece ori mai mică decât a Pământului, este însă destul de puternică pentru ca activitatea pe Lună să fie confortabilă, dar nu destul de puternică pentru ca lansările de pe Lună în spațiu să fie costisitoare. Dar fără apă pe Lună, planul eșuează, deoarece ar trebui să expediem pe Lună o mare cantitate de apă pentru a susține viața, producția componentelor și a combustibilului.

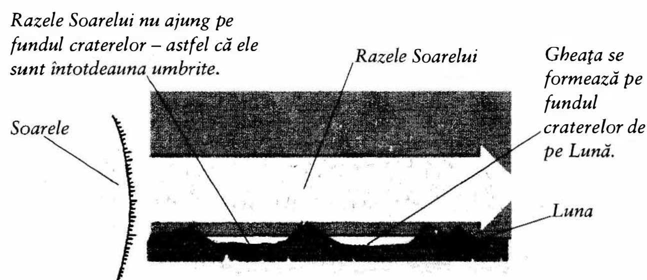
După ce Apollo 17 a părăsit Luna, oamenii nu s-au mai întors pe Lună până în anul 1994, când armata S.U.A. a folosit-o pentru a exersa Inițiativa de Apărare Strategică anti-rachetă și anti-balistică „Războiul stelelor". Obiectivul misiunii Clementine era să demonstreze tehnologia anti-rachetă orbitând în jurul Lunii și testând noua tehnologie cu senzori, apoi țintind un asteroid într-un zbor de recunoaștere – o misiune-test cu asemănări surprinzătoare cu misiunea de detectare și distrugere a unei rachete balistice inamice.

Clementine, orbitând în jurul Lunii la numai 100 km deasupra polilor, a obținut imaginile de înaltă rezoluție cele mai spectaculoase ale suprafeței Lunii văzute vreodată. Satelitul a captat multe imagini în timp ce se deplasa pe deasupra suprafeței Lunii, la fiecare două ore; într-o lună, Luna se rotise complet în jurul axei sale pe sub orbita lui Clementine, oferind destule imagini pentru a crea un mozaic global al întregii sale suprafețe.



STÂNGA În anul 1998, misiunea spațială Lunar Prospector de la NASA a dezvăluit că există apă pe suprafața Lunii, înghețată în craterele umbrite de lângă poli. Poate următoarea misiune va găsi pinguini...

GHEAȚĂ PE LUNĂ



SUS Apa a supraviețuit pe Lună pe fundul craterelor adânci, ferite din calea razelor arzătoare ale Soarelui.

Clementine, polul sud lunar și antenele Deep Space Network au fost aliniate pentru experiment pe patru orbite la începutul lui aprilie 1994, dar experimentul a funcționat numai pe două dintre aceste orbite. Rezultatele au fost interesante. Pe orbita lunară Clementine 234, semnalul reflectat a arătat semnătura potrivită, indicând că ar putea exista apă pe Lună.

Descoperirile au fost în cel mai bun caz ambigue, dar perspectiva existenței apei înghețate pe Lună era prea interesantă ca să fie ignorată: dacă apa exista, omenirea o putea folosi pentru a explora Sistemul Solar. Apa poate avea folosiri evidente în sistemele de susținere a vieții, dar dacă o descompuneți în hidrogen și oxigen, elementele sale constituente, obțineți unul dintre cei mai puternici combustibili cunoscuți vreodată. Apa ar putea transforma Luna, acum un satelit singuratic, într-un punct de pornire solid către stele.

În anul 1998, misiunea NASA Lunar Prospector a fost trimisă pentru a confirma această informație. Lunar Prospector a făcut un inventar al substanțelor de pe Lună și a scanat suprafața în căutarea hidrogenului, un indicator sigur al prezenței apei. La sfârșitul misiunii sale din anul 1999, Lunar Prospector a atins suprafața Lunii în apropierea polului ei sud, în încercarea de a găsi apă subterană. Nu a fost găsită.

Totuși, în martie 1998, NASA anunțase deja că Luna ar da într-adevăr un semn indicând existența apei ascunse – nu numai în depresiunea de la polul sud, ci și în craterele mai înguste de la polul nord. În anul 2004, NASA a început să planifice trimiterea unui echipaj pe Lună până în anul 2020, poate în pregătirea unei călătorii mai lungi către Marte.

impacturi un timp mai îndelungat. Rata de formare a craterelor ar trebui să fie aproximativ aceeaşi la un moment dat în interiorul Sistemului Solar, reflectând numărul micilor corpuri cereşti care zboară în jurul Sistemului Solar la momentul respectiv. Dacă am putea stabili relaţia dintre numerele craterelor şi vârsta terenului pe care cad, am avea un instrument util pentru a estima vârstele suprafeţelor pe alte corpuri cereşti ce conţin cratere, precum Mercur şi Marte.

Acest lucru s-a dovedit a fi posibil folosind calcule bazate pe numărul de cratere de pe mările întunecate ale Lunii şi numărul de proiectile care se învârtesc prin Sistemul Solar, bazate pe datarea radiometrică a mostrelor din mările lui Apollo. Rezultatele arată că pentru un corp ceresc de dimensiunea Pământului, un crater cu un diametru de un kilometru ar trebui să se producă la câteva zeci de mii de ani, câteva cratere de 10 km la câteva milioane de ani, iar un crater de 100 km la 50 de milioane de ani. Aceste rate arată că mările lunare au fost presărate cu cratere de mai multe milioane de ani, ceea ce este conform cu datarea radioactivă, ce indică vârste între 3,3 şi 3,8 milioane de ani.

Înălţimile lunare au ridicat totuşi o problemă. Pentru a acumula numărul curent de cratere ar fi trebuit să fie expuse bombardamentului timp de 38 de miliarde de ani – mult mai mult decât vârsta Universului. Întrucât acest lucru este imposibil, trebuie să fi existat o perioadă de bombardment mult mai intens la începutul istoriei Lunii în Sistemul Solar. Acest lucru este conform cu imaginile preluate de pe sateliţii lui Jupiter şi Saturn, care înfăţişează sprafaţe la fel de pline de cratere ca şi munţii de pe Lună.

Bombardamentul intens trebuie să se fi produs în primul miliard de ani ai Sistemului Solar. Asta înseamnă că tehnica poate fi folosită pentru a data cu aproximaţie formele de relief vechi, pline de cratere, formate la începuturile Sistemului Solar şi pentru a data mai precis noile forme de relief, formate în timpul perioadei curente. Astfel, savanţii care examinau imaginile de la misiunile spaţiale Galileo şi Cassini, înfăţişând sateliţii lui Jupiter şi Saturn, au putut să dateze cu aproximaţie formele lor de relief, deşi nu aveau mostre fizice.

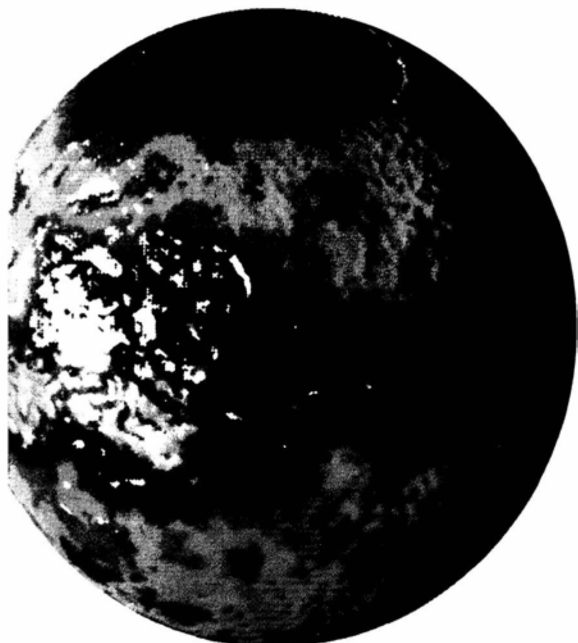


SUS **Mercur este planeta cea mai apropiată de Soare, având în timpul zilei temperatura arzătoare de 430°C şi îngheţând noaptea la -180°C – deoarece practic nu are vreo atmosferă care să-l ţină de cald.**

Enigmatica Venus

Indiciile oferite de Lună au permis astronomilor să obţină un avanpost virtual pe planete mai îndepărtate, ca Marte şi Mercur. Totuşi, Venus a rămas un mister absolut până în anii 1960, deoarece deşi Venus se apropie de Pământ mai mult decât orice altă planetă, atmosfera ei opacă face ca suprafaţa ei să fie imposibil de observat folosind telescoapele de la sol. Răspunsul a fost folosirea noii tehnologii spaţiale, iar în decembrie 1962, Mariner 2 a devenit prima navetă spaţială care a reuşit să facă un zbor de observare asupra lui Venus şi să trimită informaţii despre natura acestei planete.

Datele s-au dovedit a fi surprinzătoare, indicând că temperatura de la suprafaţă era de cel puţin 380°C. Astronomii făcuseră calcule care arată că o planetă cu reflectivitatea lui Venus şi aflată la acea distanţă faţă de Soare ar trebui să aibă o temperatură la suprafaţă de circa -20°C. Şi atunci, de ce era suprafaţa mult mai fierbinte decât sugerau calculele? Norii din jurul planetei aveau temperatura estimată, dar sub ei se afla – conform probelor prelevate ulterior după aterizarea pe suprafaţă – un cuptor uscat cu presiunea de o atmosferă. Navetele ruseşti Venera ulterioare au arătat că presiunea la suprafaţă era de 90 de ori mai mare decât pe Pământ –



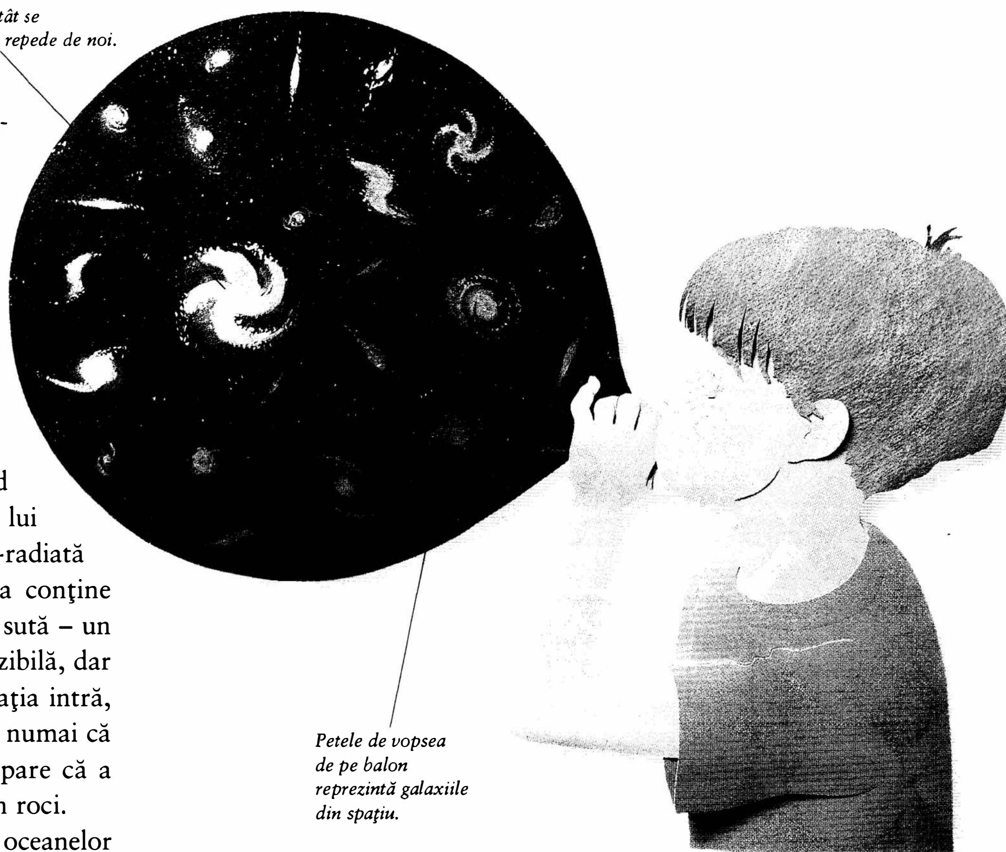
STÂNGA **Vecina noastră cea mai apropiată, Venus, este învăluită de o atmosferă foarte groasă, bogată în dioxid de carbon – care păstrează suprafaţa la temperatura arzătoare de 480°C. Aici radarul a trecut dincolo de platoul de nori pentru a dezvălui suprafaţa planetei. „Gaura" din partea de sus a planetei este spaţiul gol din harta NASA.**

aproximativ presiunea de pe fundul oceanului, la o adâncime de 1000 de metri – şi au aflat că temperaturile înregistrate de către Mariner 2 erau corecte.

Carl Sagan, pe atunci student la Universitatea din Chicago, a făcut calcule prin care a stabilit că temperaturile ridicate erau provocate de un efect de seră extrem, în care atmosfera se comportă ca o pătură izolatoare masivă pentru planetă. Când lumina Soarelui pătrunde în atmosfera lui Venus, este absorbită de suprafaţă şi re-radiată în infra-roşu. Dar, deoarece atmosfera conţine dioxid de carbon în proporţie de 97 la sută – un gaz transparent pentru lumina solară vizibilă, dar opac pentru radiaţia infra-roşie –, radiaţia intră, dar nu se poate întoarce. Acest efect nu numai că a ridicat temperatura planetei, dar se pare că a eliberat şi mai mult dioxid de carbon din roci.

Dovezile asupra existenţei anterioare a oceanelor se află în raportul dintre izotopii de hidrogen greu şi uşor din atmosferă. Vaporii de apă au tendinţa de a se descompune în hidrogen şi oxigen când sunt expuşi radiaţiilor solare ultraviolete, aşa cum se întâmplă în straturile superioare ale atmosferei lui Venus. Hidrogenul, fiind cel mai uşor dintre elemente, poate evada din atracţia gravitaţională a unei planete mici, dar izotopul uşor al hidrogenului – cel normal – este pierdut mai uşor decât deuteriul, izotopul masiv. Acest lucru, desigur, măreşte raportul dintre deuteriu şi hidrogenul normal. În timp ce sonda spaţială Pioneer Venus de la NASA cobora în atmosfera venusiană în anul 1978, Thomas Donahue de la Universitatea din Michigan – un adept al ideii existenţei oceanelor pe Venus – a observat că rezultatele indicau un raport deuteriu-hidrogen de circa o sută de ori mai mare decât cel de pe Pământ. Acest lucru arăta că se pierduse destulă apă din oceanele de dimensiuni modeste ale planetei.

În anul 1990, o sondă orbitală numită Magellan a început să cartografieze suprafaţa lui Venus, folosind unde radar pentru a penetra norii. Lucrările sale l-au dus pe Magellan la o moarte eroică în atmosferă, acesta reuşind să trimită datele în ultimul moment.



SUS Încă de la Big Bang, care a dat naştere Universului, galaxiile s-au îndepărtat în zbor tot mai mult, pe măsură ce spaţiul se extindea. Distanţa tot mai mare dintre galaxii în timp ce spaţiul se extinde poate fi imaginată desenându-le pe un balon, apoi privindu-le cum se îndepărtează unele de altele în timp ce este umflat balonul. Fiecare galaxie pare să fie centrul expansiunii.

PÂNA LA JUPITER ŞI DINCOLO DE EL

Până în anul 1972, exteriorul Sistemului Solar fusese ignorat de către agenţiile spaţiale, dar în acel an NASA a lansat Pioneer 10, în scopul de a deveni un deschizător de drumuri către gigantele de gaz: Jupiter, Saturn, Uranus şi Neptun.

Nimeni nu ştia la ce să se aştepte. Nicio navetă spaţială nu călătorise vreodată mai departe de orbita lui Marte, dincolo de care astronomii zăriseră o centură groasă de resturi stâncoase ale formării Sistemului Solar, denumită Centura de Asteroizi. Toate misiunile către Jupiter sau dincolo de ea ar fi trebuit să o traverseze. Riscul pe care îl prezenta pentru navele spaţiale era necunoscut. Se specula că centura putea fi plină de micro-meteoriţi periculoşi pentru navele spaţiale, transformând-o efectiv într-o barieră blocantă de 280 de milioane de kilometri pentru explorarea astronomică a exteriorului Sistemului Solar. Managerii misiunilor spaţiale nu ştiau nimic despre distanţa dintre particule sau despre distribuţia dimensiunilor lor, iar o ciocnire distructivă părea foarte probabilă. S-a dovedit că Pioneer 10 a reuşit să treacă de zona periculoasă fără probleme, iar până acum nu a fost pierdută nicio sondă spaţială în Centura de Asteroizi. Este alcătuită din multe bucăţi mari, nu din bucăţi mici de rocă.

DREAPTA **Misiunile Voyager au arătat că Saturn este una dintre cele mai fascinante planete. În afara inelelor sale distinctive, Saturn are numeroşi sateliţi, printre care Dione, Enceladus, Rhea şi Titan.**

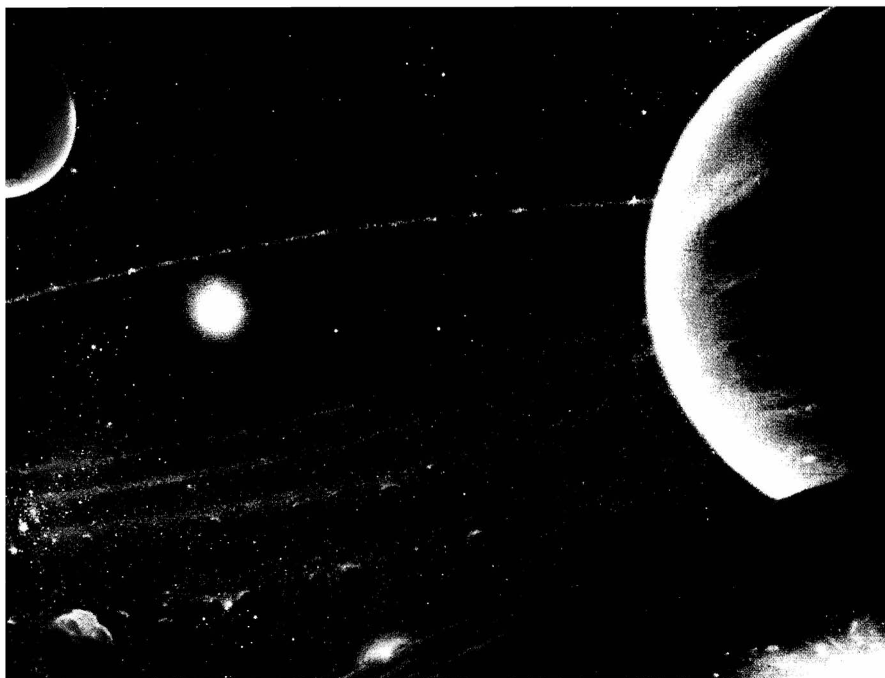
În decembrie 1973, Pioneer 10 a devenit prima navetă spaţială care a ajuns pe Jupiter, dezvăluind detalii despre magnetosfera ei vastă şi despre centurile feroce de radiaţii care înconjoară planeta (de 1000 de ori mai mari decât centurile periculoase pentru navetele spaţiale din jurul Pământului). Numai viteza navetei spaţiale a evitat arderea aparaturii electronice de la bord din cauza radiaţiilor plasmei – electroni şi ioni încărcaţi electric, controlaţi de câmpul magnetic intens al magnetosferei lui Jupiter.

Multe planete au câmpuri magnetice puternice, iar acestea formează cavităţi în formă de cometă în jurul planetelor, trase în afară de vântul solar.

Cavităţile sau magnetosferele, controlează mişcarea particulelor încărcate electric din ele, captându-le din vântul solar şi accelerându-le, formând inele de radiaţie în jurul unei planete. Chiar de la distanţa Pământului, Jupiter apare pe spectrul radio dezvăluind semnătura radio a particulelor cu nivel înalt de energie din apropierea lui – un semn sigur că poate fi unul dintre cele mai periculoase locuri din Sistemul Solar.

JOS **Iată un montaj cu sateliţii lui Saturn laolaltă, creat din cele mai uimitoare imagini transmise de către Voyager I în zborul său din anul 1980. În faţă se află Dione, la dreapta este Enceladus, cu Rhea şi inelele la stânga, iar Titan mai departe şi sus.**

Succesul lui Pioneer 10 în penetrarea centurilor de radiaţie şi nişte alinieri planetare favorabile au dus la decizia de modificare a traiectoriei navetei spaţiale Pioneer 11. La scurt timp după lansarea sa din anul 1974, Pioneer 11 a fost special îndreptată mai aproape de Jupiter decât fusese planificat iniţial, deci planeta avea să o arunce într-o nouă direcţie, către Saturn – o tehnică ce urma să fie folosită şi la misiunile Voyager ulterioare pentru a face un tur complet al extremităţilor Sistemului Solar. Dar centurile de radiaţie nu puteau fi ignorate atât de uşor, deoarece în timpul celei mai mari apropieri de Jupiter, nava spaţială a ratat imaginile aşteptate ale satelitului lui Jupiter, Io, din cauza devierilor induse de radiaţii.



TURUL COMPLET AL SISTEMULUI SOLAR

În timp ce Pioneer 11 era încă în călătoria sa de cinci ani către Saturn, au mai fost trimise două noi navete spaţiale către exteriorul Sistemului Solar. Voyager 1 şi Voyager 2 au fost lansate de la Centrul Spaţial Kennedy, Florida, în August 1977. Misiunile Voyager au fost proiectate pentru a profita de aranjarea geometrică rară a planetelor de la marginea Sistemului Solar, care permitea un tur de patru planete în cel mai scurt timp posibil, fără necesitatea unor motoare mari de rachetă. Fiecare întâlnire planetară furniza energie navei spaţiale şi îi curba traiectoria destul cât să o propulseze către următoarea destinaţie. Această tehnică de folosire a „asistenţei gravitaţionale“ reducea timpul de zbor către Neptun de la 30 de ani la 12 ani.

Misiunile Voyager au făcut un număr copleşitor de descoperiri. În anul 1979, camerele au trimis imagini uluitoare de pe Jupiter, arătând pentru prima dată furtuni în atmosfera sa învolburată. Au descoperit şi o caracteristică ce scăpase misiunilor Pioneer, întrucât Jupiter are un inel abia vizibil, imposibil de văzut de pe Pământ. Naveta spaţială a furnizat primele fotografii ale marilor sateliţi ai lui Jupiter, descoperiţi de către Galilei cu 360 de ani înainte. În anul 2003, o sondă purtându-i numele a ajuns pe orbită în jurul lui Jupiter. Galileo a lansat o sondă mai mică în atmosfera agitată a giganticei planete. De asemenea, a făcut un zbor de observare a satelitului de gheaţă Europa. Rezultatele trimise de către Galileo sugerează că sub suprafaţa îngheţată a satelitului Europa se află un ocean de apă sărată, iar satelitul se află acum în fruntea listei de corpuri cereşti din Sistemul Solar care ar putea adăposti viaţă.

Voyager a descoperit sateliţi care păstoreau inelele.

Misiunile Voyager au dezvăluit multe informaţii despre inelele şi sateliţii lui Saturn.

Inelele lui Saturn sunt discuri subţiri formate din mici bucăţi de gheaţă.

Vulcani şi oceane de gheaţă

Dovezile existenţei activităţii vulcanice din Sistemul Solar au apărut când Voyager a aruncat o privire asupra vulcanului care erupea la marginea discului lui Io: un con vulcanic de 30 de ori mai înalt decât Everestul, împroşcând cu lavă o zonă de dimensiunea Franţei. Se crede acum că vulcanii de pe Io sunt sursa principală a centurilor de radiaţie ale lui Jupiter, furnizându-le particule de sulf şi oxigen cu nivel ridicat de energie.

Voyager a descoperit amestecul curios de crustă veche şi nouă de pe Ganimede. El a trimis imagini de pe Callisto, care are cratere chiar la suprafaţa sa străveche, apoi a descoperit trei noi sateliţi, Adrastea, Metis şi Teba, toate având considerabil mai puţin de 100 km în diametru.

Inele de gheaţă

La scurt timp după ce Pioneer 11 a oferit primele imagini luate de aproape de pe Saturn şi informaţii importante, necesare pentru a dirija cele două misiuni Voyager prin sistemul complex de sateliţi şi inele din jurul lui Saturn, misiunile Voyager au parcurs o cale mai directă către planeta cu inele. Voyager 1 a ajuns acolo în anul 1980, Voyager 2 a ajuns în anul 1981. Gama fantastică de imagini pe care le-au trimis a dezvăluit că inelele lui Saturn sunt mult mai complexe decât era de aşteptat, cu multe mii de inele mai mici în fiecare inel mare, fiecare alcătuit din trilioane de particule de gheaţă şi aisberguri de dimensiunea unei maşini. Unele aveau prelungiri ciudate şi altele aveau încreţituri ce păreau să sfideze legile mecanicii cereşti. Nimeni nu înţelegea cum puteau

COPIII CELORLALTE STELE

Cât timp aşteptăm ca tehnologia să progreseze până la punctul în care chiar vom putea vedea planetele, principiile de bază ale fizicii au făcut posibil să le simţim prezenţa. A doua lege a lui Newton susţine că fiecărei acţiuni îi corespunde o reacţiune egală ca mărime şi în sens contrar, deci dacă o stea exercită atracţie asupra unei planete, şi planeta trebuie să exercite o atracţie asupra stelei. Ca şi în cazul în care aţi lua o găleată de apă şi aţi învârti-o, cele două corpuri cereşti se rotesc în jurul unui centru de gravitaţie comun şi steaua pare să oscileze uşor. Perioada acestei mişcări este timpul necesar ca planeta să se rotească în jurul stelei.

Totuşi, acest lucru nu este destul ca să fie detectabilă. Oscilaţiile sunt mult mai mici decât orbitele planetelor pe care le căutăm şi sunt imposibil de detectat prin măsurătoare directă. Totuşi, în anul 1842, Christian Doppler a arătat că dacă o sursă de lumină se apropie sau se îndepărtează de observator, undele luminoase vor fi adunate sau împrăştiate. Acesta este efectul Doppler – acelaşi efect care face ca sirena unei ambulanţe să-şi schimbe tonul când se apropie, apoi când se îndepărtează. Şi aşa se face că, deoarece planeta nevăzută împinge steaua încolo şi încoace, avem exact rezoluţia spectrală necesară pentru a vedea cum lumina stelei oscilează în spectru.

Trebuie să luăm în considerare nu numai oscilaţia din spectrele de lumină cauzate de mişcarea planetei în jurul stelei, dar şi devierea Doppler cauzată de mişcarea Pământului în jurul Soarelui, a Lunii în jurul Pământului şi chiar a planetelor de lângă Pământ. După ce facem acest lucru, telescoapele pot detecta destul de precis mişcarea stelelor pentru a vedea oscilaţiile provocate de alte lumi.

Perioada de oscilaţie este egală cu timpul necesar planetei pentru a se roti în jurul stelei sale. Din legea a treia a lui Kepler (altă lege de bază din vechea noastră trusă de fizică) distanţa medie a planetei până la stea este egală cu rădăcina cubică a pătratului perioadei – deci astfel aflăm distanţa orbitală a planetei. Amplitudinea oscilaţiei – distanţa de la punctul ei de maxim la cel de minim – dă informaţii asupra masei planetei, sau raportul minim dintre masele planetei şi a stelei. Cu cât este mai mare amplitudinea, cu atât este mai mare planeta în comparaţie cu Soarele. Este o cifră minimă deoarece nu putem stabili dacă planeta se află pe orbită exact în dreptul nostru (maximizând efectul de oscilaţie aparentă) sau în alt loc, între această poziţie şi poziţia în unghi drept faţă de noi. Din strălucirea stelei şi din modelele noastre stelare îi putem determina masa şi astfel putem obţine o masă minimă a planetei din acel raport.

Prima planetă care a fost văzută folosind tehnica Doppler se rotea în jurul stelei 51 Pegasi. De atunci au fost detectate multe altele. Cele mai multe nu sunt asemănătoare Pământului, deoarece sunt corpuri cereşti masive, de dimensiunea lui Jupiter, care se rotesc arzător de aproape de stelele lor, dar aceste planete sunt mai uşor de văzut decât cele asemănătoare planetei noastre. Tehnologia a fost rafinată continuu, iar în anul 2007 a fost detectată planeta cea mai asemănătoare cu Pământul, rotindu-se în jurul unei stele din constelaţia Balanţei. Planeta este puţin mai mare decât Pământul, iar orbita ei sugerează că temperatura de la suprafaţa ei este apropiată celei de la suprafaţa Pământului.

rămâne stabile până când au fost observate de aproape imaginile lui Voyager care arătau mici sateliţi pe marginile inelelor, păstorind micii fulgi de gheaţă din sistemul de inele, compensând forţele mareice care altfel ar dezintegra inelele.

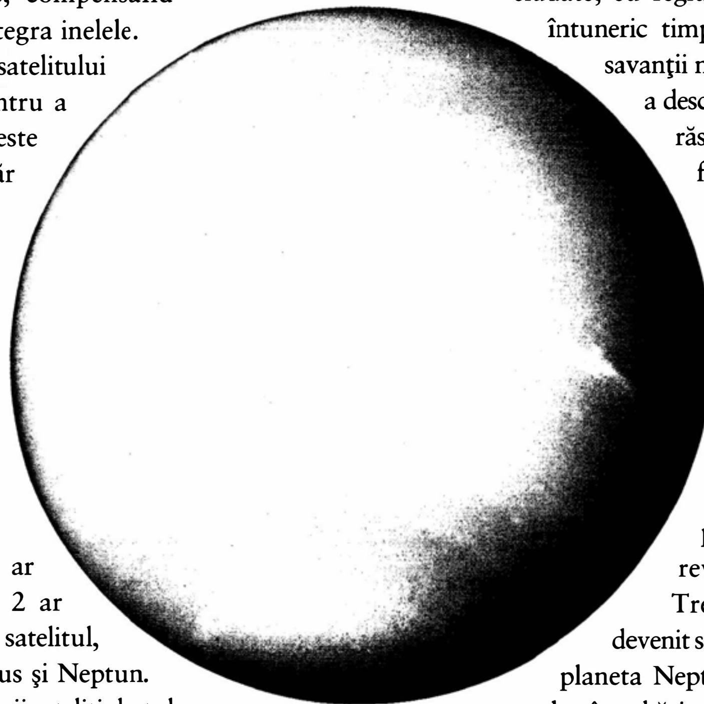
Voyager 1 a trecut pe deasupra satelitului Titan, aflând că era prea rece pentru a găzdui viaţa, dar că atmosfera sa este asemănătoare cu cea a unui tânăr Pământ. Întâlnirea cu Titan a făcut ca Voyager 1 să nu poată să-l urmeze pe Voyager 2 către Uranus şi Neptun. Între timp, au fost descoperiţi sateliţii Atlas, Prometeu, Pandora, Epimethus, Janus, Elena, Telesto şi Calypso, precum şi luminile aurorei de pe Saturn. Voyager 1 a avut apoi altă întâlnire importantă cu Titan.

NASA a decis că dacă Voyager 1 ar rata întâlnirea cu Titan, Voyager 2 ar trebui redirecţionat pentru a vizita satelitul, terminându-şi misiunea către Uranus şi Neptun. Deoarece Titan este unul dintre puţinii sateliţi destul de mari pentru a avea propria atmosferă, cercetătorii erau nerăbdători să afle despre el cât mai multe posibil. În timpul întâlnirii, deşi Titan era prea plin de nori pentru a i se vedea suprafaţa, toate experimentele au fost încununate de succes, permiţându-i lui Voyager 2 să se îndrepte spre Uranus.

Astronomii mai aveau încă întrebări fără răspuns despre Titan. În anul 1997, NASA a lansat misiunea Cassini, care a zburat timp de şapte ani, pe lângă Venus şi Jupiter către Saturn. Acolo a zburat pe lângă inele şi mai mulţi sateliţi. Principalul obiectiv al misiunii Cassini era să lanseze o sondă, Huygens, pe suprafaţa lui Titan. Huygens a descoperit o lume cu o atmosferă de metan şi oceane de lichide uleioase.

URANUS ŞI NEPTUN

În timp ce Voyager 1 părăsea Sistemul Solar – prima sondă care făcea asta – misiunea lui Voyager 2 a continuat cu un zbor de observare asupra lui Uranus în anul 1986, a treia planetă ca mărime din Sistemul Solar. Zborul a confirmat că planeta era turtită pe o parte – având o formă neobişnuită, despre care se crede că se datorează ciocnirii cu un corp ceresc de dimensiunea unei planete, la începutul istoriei Sistemului Solar. Datorită orientării sale ciudate, cu regiunile de la poli în lumină sau în întuneric timp de o jumătate de an uranian, savanţii nu ştiau la ce să se aştepte. Voyager a descoperit o magnetosferă remarcabilă, răsucită prin rotaţia planetei sub formă de tirbuşon lung.



SUS **Planeta Neptun – imensă şi de un albastru strălucitor – este formată aproape în întregime din gaze, având o inimaginabilă suprafaţă de metan rece lichid.**

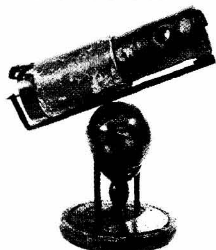
Imaginile lui Voyager de pe Miranda, satelitul mare cel mai interior, au arătat că este unul dintre cele mai ciudate corpuri cereşti din Sistemul Solar. Satelitul pare să aibă falii imense de 20 km adâncime şi un amestec de suprafeţe vechi şi noi, indicând că Miranda poate fi un satelit în proces de revenire după un impact violent.

Trei ani mai târziu, Voyager 2 a devenit singura navetă care a vizitat vreodată planeta Neptun, o întâlnire care a răspuns la multe întrebări despre inelele lui Neptun. De pe Pământ, inelele nu par complete. Misterul a fost dezlegat de imaginile care arătau că de fapt inelele erau complete, dar erau compuse din materie atât de fină încât nu pot fi complet detectate pe Pământ. Voyager a monitorizat şi o Mare Pată Neagră asemănătoare unui uragan din atmosfera planetei, similară Marii Pete Roşii a lui Jupiter. Iniţial, se credea că Neptun era prea rece pentru a găzdui furtuni, deoarece primeşte radiaţie de la Soare la numai 0,1 la sută din puterea radiaţiei de pe orbita Pământului. Au fost descoperiţi în total şase noi sateliţi – toţi foarte întunecaţi deoarece reflectă numai 6 la sută din cantitatea nesemnificativă de lumină care ajunge la ei.

Voyager 2 şi-a terminat cariera planetară în anul 1989, zburând pe deasupra satelitului lui Neptun, Triton, şi detectând gheizere emanând gaze către cer. Orbita în sens invers a lui Triton sugerează că este un planetoid capturat.

Voyager 2 a părăsit apoi Sistemul Solar, dar va trimite semnale până în anul 2020. Voyager 1, cel mai îndepărtat obiect artificial de Pământ, cu şanse mari să-şi păstreze acest statut, a fost detectat ultima dată în anul 2006 de nişte radio-amatori entuziaşti.

PRIVIRE RAPIDĂ ASUPRA ASTRONOMIEI



UNUL DINTRE PRIMELE TELESCOAPE

140

Ptolemeu realizează un model complet al mişcării corpurilor cereşti, bazat pe orbite şi mici sub-orbite numite epicicluri, care explică modul în care planetele fac uneori bucle ciudate.



NICOLAUS COPERNICUS

[illegible]

Nicolaus Copernic arată că Pământul nu se află în centrul Universului şi nici măcar nu este fix, ci se roteşte rapid în jurul propriei axe.

[illegible]

Galileo Galilei foloseşte telescopul pentru a arăta că stele îndepărtate formează Calea Lactee şi că Venus are faze la fel ca şi Luna – demonstrând astfel teoria lui Copernic.



GRAVITAŢIA

1781

William Herschel descoperă planeta Uranus, prima planetă descoperită după perioada Antichităţii.

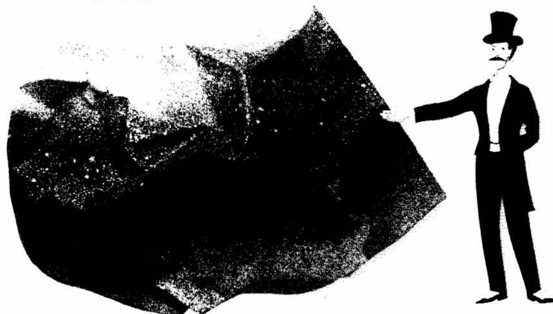


HERMANN HELMHOLTZ

[illegible]

John Couch Adams analizează perturbaţiile orbitei lui Uranus şi anticipează cu eroare de două grade poziţia unei planete încă nedescoperite. Calculele sale sunt repetate de către Urbain Leverrier doi ani mai târziu.

ASTEROID



1846

Johann Galle descoperă planeta Neptun folosind predicţiile lui Leverrier şi Couch Adams.

[illegible]

Grove Karl Gilbert arată că marile cratere ale Lunii sunt diferite de craterele vulcanice ale Pământului şi probabil sunt formate prin impacturi cu meteoriţii.

1930

Clyde Tombaugh descoperă planeta Pluton comparând două fotografii făcute de un telescop donat observatorului Lowell.

[illegible]

Sonda rusească Lunar II este prima misiune spaţială încununată de succes către altă planetă, înconjurând Luna şi dezvăluindu-i pentru prima dată faţa ascunsă.

[illegible]

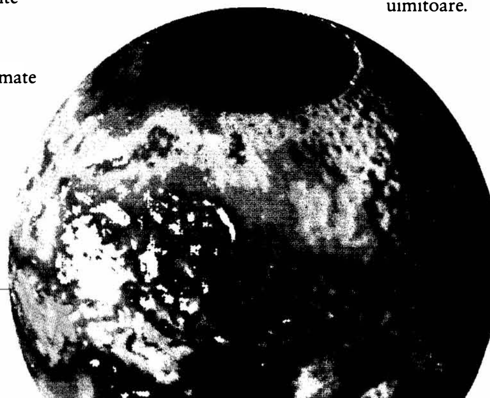
Sonda Mariner II zboară până la Venus şi arată că suprafaţa planetei are o temperatură de 380°C – cu 400°C mai fierbinte decât se aşteptau savanţii.

[illegible]

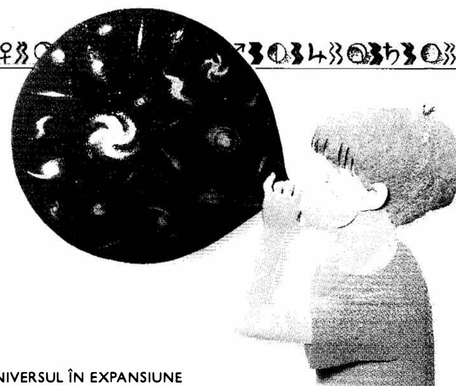
Carl Sagan îşi dă seama că temperaturile ridicate ale suprafeţei lui Venus se datorează efectului de seră, creat de conţintul de dioxid de carbon în proporţie de 97% al atmosferei planetei.

[illegible]

Misiunea Apollo aduce pietre de pe Lună care dezvăluie că rocile Lunii s-au format în aceeaşi perioadă cu cele ale Pământului.



VENUS



UNIVERSUL ÎN EXPANSIUNE

1973

Pioneer 10 devine prima sondă spaţială care ajunge la Jupiter şi dezvăluie o mulţime de detalii despre magnetosfera ei şi despre centurile ei de radiaţie.

1974

Sonda spaţială Pioneer 11 oferă primele imagini de aproape ale planetei Saturn şi oferă o mulţime de informaţii valoroase despre sateliţii şi inelele sale.

1980

Voyager I trece peste satelitul lui Saturn, Titan, şi dezvăluie că, deşi este foarte rece, are o atmosferă asemănătoare celei a unui tânăr Pământ. Descoperă şi opt noi sateliţi ai lui Saturn.

1986

Voyager 2 zboară pe deasupra lui Uranus şi confirmă că planeta este turtită pe o parte. Mai descoperă zece noi sateliţi ai lui Uranus.

[illegible]

Voyager 2 devine prima navetă spaţială care ajunge pe Neptun şi observă gheizerele emanând azot gazos de pe suprafaţa lui Triton, satelitul lui Neptun.

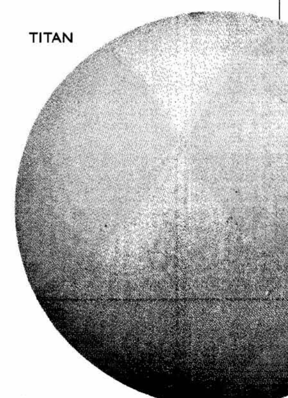
[illegible]

Telescopul spaţial Hubble este lansat şi, după ce este corectată aberaţia sa de sfericitate, oferă imagini ale Universului de o claritate uimitoare.

1994

Misiunea americană Clementine oferă cele mai spectaculoase imagini de înaltă rezoluţie văzute vreodată ale suprafeţei Lunii şi oferă destule imagini pentru a crea o hartă tridimensională detaliată a întregii suprafeţe.

TITAN



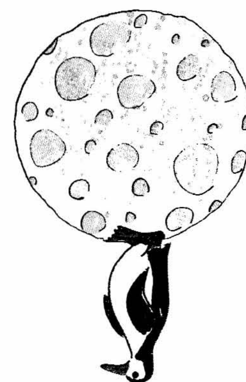
1998

NASA detectează apă sub polii nord şi sud ai Lunii.

2004

Misiunea Cassini ajunge pe orbita lui Saturn şi aruncă mica sondă Huygens pe suprafaţa lui Titan.

APĂ PE LUNĂ




Au

Natura materiei

CHIMIA



În laboratorul viitorului, chimistul nu va purta halat alb. Nu îl veţi vedea jonglând cu eprubete, ci stând în faţa unui ecran LCD zero-flicker din polimeri, având poate diagonala de 60 de centimetri. Pe ecran, rotindu-se încet, se va afla imaginea unei molecule complexe a unui medicament; în timp ce chimistul manevrează imaginea prin clicuri, ajustează un grup chimic ici şi modifică o legătură dincolo.

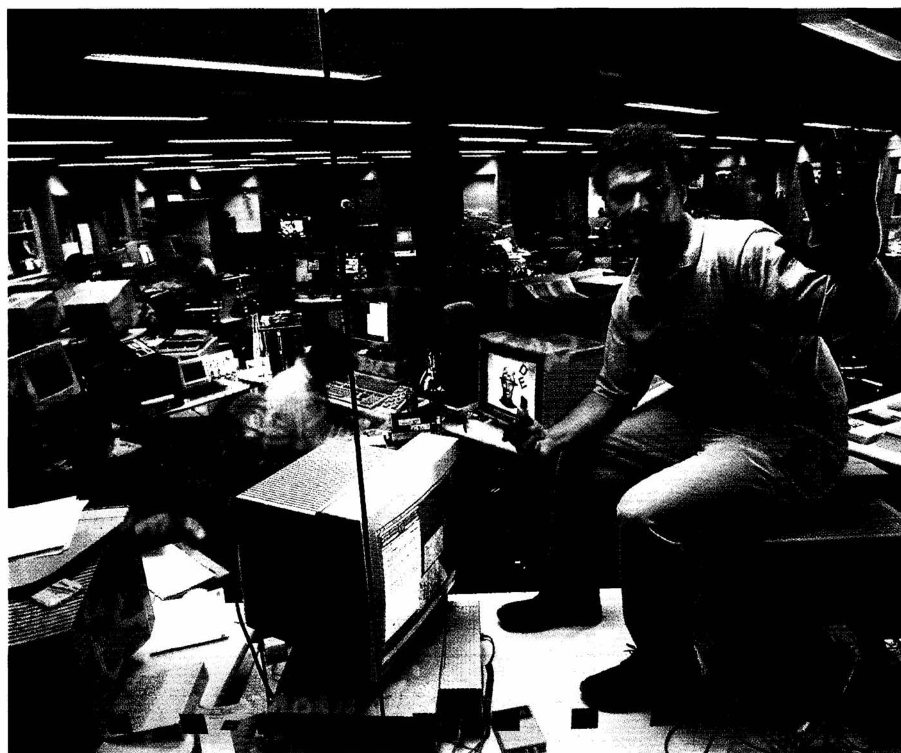


Un alt clic, de data asta către zona din stânga jos a ecranului. Fişierul comprimat al moleculei este încărcat rapid pe Internet, iar în mai puţin de două secunde un colaborator din cealaltă parte a lumii vede şi el imaginea tridimensională a noului medicament pe ecranul computerului. Cei doi savanţi au o scurtă conversaţie pe chat folosind o conexiune video. Când conversaţia se apropie de sfârşit, chimistul nostru execută dublu-clic pe pictograma unei mici retorte din partea din stânga sus a ecranului. Pe cealaltă parte a continentului, într-o fabrică subterană, braţul unui robot devine activ şi începe să amestece ingredientele.

Science fiction? Poate, însă în relativ puţinii ani de când am început să manipulăm substanţele, cunoştinţele noastre despre arhitectura moleculară au parcurs un drum lung. Principala funcţie a chimiei va fi întotdeauna crearea în recipiente de reacţie a unor substanţe de anumite tipuri, pe care le putem folosi ca medicamente, ca materiale, în agricultură şi chiar – paradoxal pentru unii – pentru a vindeca boli ale mediului. Dar modul în care descoperim noi compuşi, cum îi manipulăm şi cum îi sintetizăm va urma noi trasee pe măsură ce tehnologia se va extinde şi se va dezvolta.

Nu va dura prea mult până când chimiştii vor obţine cu riscuri minine compuşii necesari stilului de viaţă cu care ne-am obişnuit, fără deşeuri din solvenţi şi cu eficienţa atomică de 100 la sută. Nicio moleculă de materie primă nu va fi irosită, deoarece din toate vor fi produse moleculele produsului finit, fără a arunca nimic. Moleculele pot fi construite chiar bucată cu bucată şi din atomii individuali. Şi, probabil, chimiştii vor putea face toate acestea fără să pună piciorul într-un laborator tradiţional, să atingă vreo eprubetă sau să mai poarte vreodată halat alb.

JOS **Ştiinţa chimiei a parcurs un drum lung din zilele în care tehnicienii în halate albe se jucau în laboratoare cu retorte pline de lichide misterioase, din care ieşeau aburi şi bule – retorte care adesea explodau. Acum, experimentele chimice cele mai avansate sunt dirijate dintr-o lume virtuală, de pe computer.**





SUS **Filosoful Aristotel din Grecia Antică vedea substanţele lumii ca fiind alcătuite din patru elemente diferite – pământ, aer, foc şi apă. Această idee a celor patru elemente a persistat timp de aproape două mii de ani şi a format baza concepţiei alchimiştilor asupra lumii materiale.**

ÎNCERCARE ŞI EROARE

Chimia nu este un domeniu nou. Oamenii din antichitate făceau experimente chimice: extrăgeau zăcăminte din pământ pentru a-şi construi unelte şi arme, fermentau materii vegetale pentru a obţine alcool – ce-i drept, era vorba mai mult despre biotehnologie decât despre chimie – şi au încercat să înţeleagă comportarea substanţelor pe care le foloseau. Cele patru elemente aristotelice clasice – pământ, aer, foc şi apă – le serveau drept bază acceptabilă pentru a clasifica materialele din jur, iar filosofului Democrit din Grecia Antică i-a venit ideea atomilor pentru a explica din ce erau alcătuite lucrurile.

Un fel de ştiinţă, îmbibată de superstiţii, a izvorât din aceste vechi idei de bază: alchimia. Ea avea nişte ţeluri mai degrabă dubioase. Cel mai cunoscut dintre ele era încercarea de a transforma o substanţă în alta printr-un soi de transmutare, cele mai multe eforturi fiind îndreptate spre obţinerea aurului din metale de bază, ca plumbul. Alchimiştii chiar credeau în posibilitatea nemuririi: dacă descopereau coctailul chimic potrivit, corpul uman ar fi putut fi păstrat intact şi în viaţă pentru totdeauna.

Alchimiştilor nu le lipseau „demonstraţiile" unor asemenea posibilităţi. Aveau la îndemână, de exemplu, existenţa variatelor substanţe care puteau fumega şi se puteau aprinde spontan. Ulterior, s-a descoperit că multe dintre acestea erau compuşi ai fosforului. Mai era argintul viu – mercurul lichid – un indiciu evident al evenimentelor misterioase ale lumii din jurul nostru. Numeroase alte fenomene chimice inexplicabile au oferit alchimiştilor dovezile necesare că erau pe calea cea bună către bogăţie şi nemurire.

Extremele pe care le-au atins alchimiştii în eforturile lor pseudo-ştiinţifice sunt uneori greu de crezut. La mijlocul secolului XVIII, negustorul german Henning Brand, care avea ca hobby alchimia, a descoperit un element înspăimântător de strălucitor în cursul unui experiment bizar, legat de transformarea plumbului în aur. Dintr-un motiv cunoscut numai de el, a adunat 50-60 de găleţi de urină şi le-a păstrat până când au început să putrezească. Apoi a fiert urina timp de vreo două săptămâni, reducând-o la o pastă pe care apoi a încălzit-o cu nisip. Nu este sigur că ştia ce face, dar amestecul rezultat conţinea fosfor elementar.

O ABORDARE ŞTIINŢIFICĂ

Epoca modernă a chimiei a început cu adevărat când scopul obţinerii aurului şi al atingerii nemuririi au făcut loc unei abordări mai raţionale, implicând experimente proiectate cu grijă, în scopul de a testa teoriile despre natura materiei. Odată cu această tranziţie, chimia a ieşit din miasmele medievale ale misticismului şi superstiţiilor şi a devenit o ştiinţă adevărată.

Savantul anglo-irlandez Robert Boyle a început acest proces barbotând aer prin variatele piese de aparatură până când a demonstrat că aerul era alcătuit din mici particule sau, aşa cum le numea el, corpusculi. În cartea sa de succes, *The Skeptical Chymist (Chimistul Sceptic)*, din anul 1661, Boyle a atacat concepţia Greciei Antice a lumii formate din cele patru elemente. El a sugerat că diferitele substanţe nu erau alcătuite din aceste elemente clasice, ci din diferite particule primare, care formau corpusculii, pe care acum îi numim molecule.

Boyle şi-a dus ideea numai până la jumătatea drumului care ducea la concluzia necesară – era abia secolul XVII, iar echipamentul analitic mai avea cale lungă înainte de a fi capabil să dezvăluie adevărul despre corpusculi şi particulele primare. De asemenea, el nu a reuşit să înţeleagă adevărata natură a elementelor; această descoperire a trebuit să aştepte până în anii 1800. Dar, deşi ideile lui Boyle erau un punct crucial pentru chimie, iar legile gazelor descoperite de el – în care descrie comportarea fizică a aerului la diferite presiuni, temperaturi şi volume – sunt valabile şi azi. Aproape de unul singur, Boyle a smuls chimia din ghearele alchimiştilor şi a aşezat-o pe baze mult mai solide, ştiinţifice.

CELE PATRU ELEMENTE

Grecii antici credeau că totul are la bază patru elemente: pământ, aer, foc și apă. Concepția îi este atribută magicianului Empedocle, care s-a născut la începutul secolului V î.Hr. După Empedocle, la crearea lumii toate cele patru elemente au fost combinate și ținute laolaltă de „forța iubirii". Apoi au fost descompuse de „ură" și au format cerul, Soarele și Pământul cu oceanele sale. Tot ce este pe Pământ a fost construit din combinații ale celor patru elemente. De exemplu, se credea că oasele sunt alcătuite din trei părți de foc și două părți de pământ. Empedocle credea că, în cele din urmă, iubirea va trimfa din nou și procesul se va inversa, combinând din nou elementele într-un întreg unit prin iubire.

Azi conceptul celor patru elemente pare simplist, dar ideile lui Empedocle și-au găsit un ecou neobișnuit în teoriile curente despre Big Bang-ul care a creat Universul și în posibilitatea ca expansiunea Universului să se inverseze și să culmineze într-un Big Crunch. Chiar și teoria sa, a celor patru elemente, a fost răzbunată într-o anumită măsură de descoperirea că toate elementele moderne sunt compuse din diferite aranjamente ale acelorași particule de bază, formate prin reacții de fuziune în interiorul stelelor.


Pământ


Aer


Foc


Apă

SUS **Concepția greacă a celor patru elemente nu este atât de diferită de ideile moderne simple despre particulele de bază.**

Un exces de fiere ducea la temperamentul energic, coleric.

Un exces de flegmă ducea la temperamentul calm și dur.

Un surplus de melancolie ducea la un temperament trist și întunecat.

Un temperament sangvin rezulta din dominația sângelui.

STÂNGA **Alchimiștii și astrologii considerau că nu numai substanțele materiale, ci și corpul omenesc sunt alcătuite din patru elemente de bază – pământ, aer, foc și apă. Diferitele combinații ale acestor patru elemente erau considerate responsabile de diferitele umori și temperamente.**

EXPERIMENTE CU AERUL

Construind pe fundaţia pusă de către Boyle, savanţii secolului XVIII, ca Joseph Black, au început să experimenteze cu seriozitate, având scopul de a descoperi secretele materiei. Lucrând în anii 1750, Black a descoperit că un anumit tip de „aer" – obţinut din respiraţia omului, din ardere sau din fermentaţie – se putea combina cu substanţe solide, precum laptele de var. Acest tip de aer putea fi apoi recuperat simplu din solidele respective, prin acţiunea căldurii. Printr-un proces experimental, Black a descoperit dioxidul de carbon.

Existenţa unui gaz constituent al aerului a reprezentat un punct de cotitură, arătând că „aerul" nu era deloc o singură substanţă şi a eradicat, odată pentru totdeauna – în rândul savanţilor – ideea că aerul era un element fundamental.

Munca lui Black a dominat-o efectiv pe cea a mai faimosului „Newton al chimiei", Antoine Laurent Lavoisier, care a explicat reacţiile care luau loc când ard substanţele. Până la experimentele lui Lavoisier, se credea că atunci când ceva arde, emana un „principiu" numit flogistic: o substanţă efemeră care putea explica unde se duce materia lipsă când, de exemplu, un băţ arde până se face scrum. Conform teoriei sale, se evapora sub formă de flogistic, fără a mai fi găsit vreodată.

În anul 1772, Lavoisier a raportat Academiei de Ştiinţe că sulful şi fosforul, când ardeau, îşi măreau masele, deoarece absorbeau „aer". Pe de altă parte, plumbul metalic format când litarga (care este o formă roşie, cristalină, de monoxid de plumb) era încălzită cu cărbune, cântărea mai puţin decât litarga iniţială, care, conform lui Lavoisier, pierduse „aer".

Lavoisier nu ştia în acel moment natura exactă a „aerelor" implicate în aceste procese, deoarece munca lui Black nu era bine cunoscută în acea perioadă. Totuşi, rezultatele lui Lavoisier au demonstrat că flogisticul nu putea să existe şi că în combustie este implicată combinaţia dintre materie şi un gaz. Şi astfel, un alt element mistic pierise ca fumul în aer.



SUS **Antoine Laurent Lavoisier (1743–94).**
Lavoisier, înfăţişat aici împreună cu soţia lui, a demolat ideea că atunci când ceva arde emană o substanţă misterioasă numită flogistic – şi a demonstrat importanţa măsurătorilor atente ale substanţelor implicate în reacţii chimice.

Când, în anul 1774, Joseph Priestley a preparat „aerul fără flogistic" încălzind un precipitat roşu de mercur, Lavoisier a suspectat că numai o parte din aerul atmosferic era de fapt folosit în procesul lui Priestley. El a descoperit că, în timpul unui proces de ardere, materialul a absorbit acest agent activ. El a numit oxigen agentul activ, un cuvânt care provine din echivalentul francez pentru „originea acidităţii". „Aerul non-vital" rămas în urmă era azotul.

DESCOPERIREA ELEMENTELOR

n anul 1789, Lavoisier a publicat prima listă, alcătuită de el, a elementelor chimice cunoscute. Multe dintre acestea, printre care aurul, argintul, cuprul, ferul, plumbul, staniul şi mercurul, erau deja cunoscute – chiar anticilor – deoarece se găsesc în natură în starea lor elementară.

Urmând calea deschisă de Lavoisier, chimişti ca Humphry Davy şi-au petrecut următorii câţiva ani descoperind constituentele multor alte substanţe. Davy, poate cel mai cunoscut pentru că a inventat lampa de siguranţă a minerului, a obţinut sodiu şi potasiu trecând un curent electric prin soluţiile de hidroxid de sodiu şi hidroxid de potasiu. Metalele au fost depozitate pe electrodul negativ într-un proces denumit electroliză. Dezvoltarea unor metode analitice tot mai mai sofisticate le-a permis chimiştilor să extragă sau să testeze elementele din amestecurile şi compuşii cei mai complecşi, iar ca urmare au fost descoperite tot mai multe elemente. Totuşi, în ciuda vitezei aparente a descoperirilor chimice de dinaintea secolului XX, un sfert din elementele cunoscute azi erau necunoscute înainte de începutul anilor 1920.



SIR HUMPHRY DAVY

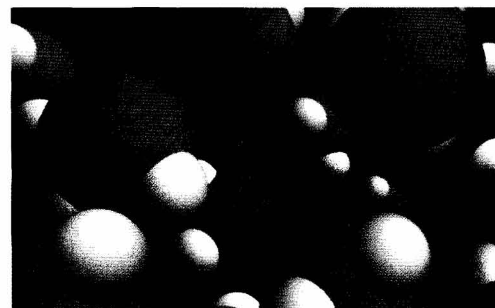
1778–1829

Chimistul englez Humphry Davy a descoperit numeroase elemente chimice importante, printre care sodiul, potasiul şi gazul ilariant, oxidul azotos.



JOS **În cartea sa extrem de influentă, *Tratat Elementar de Chimie* (1789), ilustrată de către soţia sa, Lavoisier a dat definiţia elementului chimic ca fiind „ultimul punct la care poate ajunge analiza chimică". În carte a dat o listă a elementelor chimice cunoscute, printre care aurul, cuprul, argintul, ferul, plumbul, stanіul şi mercurul.**

ACIZI ŞI BAZE



Toate substanțele chimice sunt acizi, baze sau substanțe neutre. Totul se reduce la comportarea lor în prezența apei. În apa pură, un mic număr de molecule de apă se ionizează: fiecare se descompune și pierde sau capătă electroni pentru a forma un ion pozitiv de hidrogen (care este un singur proton) și un ion negativ hidroxid. Deoarece s-au format din divizarea moleculelor de apă, numărul ionilor de hidrogen și hidroxid este același. Dar când anumiți compuși sunt dizolvați în apă sau când reacționează cu ea, acest echilibru clar este perturbat.

Compușii care eliberează ioni de hidrogen în apă înclină balanța către aciditate. De aceea, un asemenea compus poate fi descris numai ca fiind un acid. Pe de altă parte, bazele sunt compuși care neutralizează acest dezechilibru, preluând ionii de hidrogen dinr-un acid – sau chiar înclinând balanța în celălalt sens, creând un surplus de ioni hidroxid. O substanță alcalină este o bază care se dizolvă în apă.

JOS **Acesta este tabelul elementelor lui John Dalton, datând din anul 1808, înfăţişând masa atomică a fiecărui element. Unele dintre substanţele pe care le prezintă, ca varul, nu sunt de fapt elemente, iar câteva mase atomice sunt greşite. Totuşi, acest mod de a privi elementele a devenit baza întregii chimii.**

ELEMENTS

		W			W
☉	Hydrogen.	1		Strontian	46
	Azote	5		Barytes	68
●	Carbon	54	I	Iron	[illegible]
○	Oxygen	7	Z	Zinc	56
	Phosphorus	9	C	Copper	56
⊕	Sulphur	13	L	Lead	90
	Magnesia	20	S	Silver	190
	Lime	24	G	Gold	190
	Soda	28	P	Platina	190
	Potash	42		Mercury	167

DALTON ŞI TEORIA ATOMICĂ

Până la sfârşitul secolului XIX, chimiştii începuseră să înţeleagă că se aflau în faţa unui sistem de elemente care devenise prea greu de manevrat fără a şti ceva mai bine ce se înţelege prin element chimic.

Curajul experimental al lui Boyle a discreditat noţiunile misterioase şi vagi ale alchimiştilor medievali, arătând că principiile şi conceptul celor patru elemente nu puteau fi combinate pentru a forma toate celelalte substanţe. El a declarat că un element chimic era o substanţă care nu putea fi descompusă în substanţe mai simple. Totuşi, acest lucru fundamental îi rămânea necunoscut. Între timp, Lavoisier a arătat că nu exista posibilitatea ca apa să fie distilată pentru a produce pământ, indiferent cât ar fi încercat, distrugând astfel altă idee veche.

Abia John Dalton, chimist britanic de la începutul anilor 1800, şi-a dat seama că orice element era alcătuit din multe particule mici, identice şi indestructibile, pe care el le-a denumit atomi, de la denumirea grecească dată de Democrit. Ideea lui a ajutat la explicarea diferenţei dintre substanţele fundamentale ca fer, sulf, mercur, oxigen şi aşa mai departe. El a spus că toate elementele sunt alcătuite din atomi de diferite mase, iar că masa este o caracteristică a atomului.

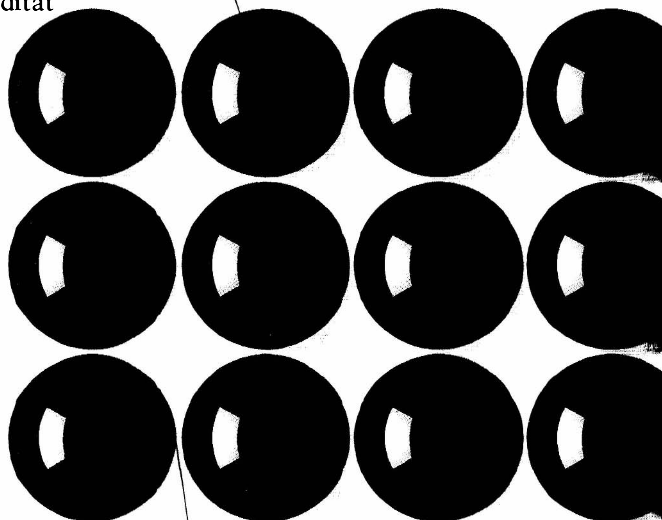
Dalton a început să ia în considerare ce anume era implicat în alte materiale, din punctul de vedere al atomilor. A tras concluzia că diferiţi atomi se puteau combina în anumite proporţii pentru a forma substanţe care nu erau elemente chimice – compuşii chimici în toată diversitatea lor. Cu câţiva ani mai târziu, fizicianul italian Amadeo Avogadro şi-a dat seama că un gaz este alcătuit din unităţi fundamentale pe care el le numea molecule, prin care înţelegea particule care conţin doi sau mai mulţi atomi. Schema de bază a atomilor şi a moleculelor la care au ajuns Dalton şi Avogadro stă la baza întregii chimii moderne.

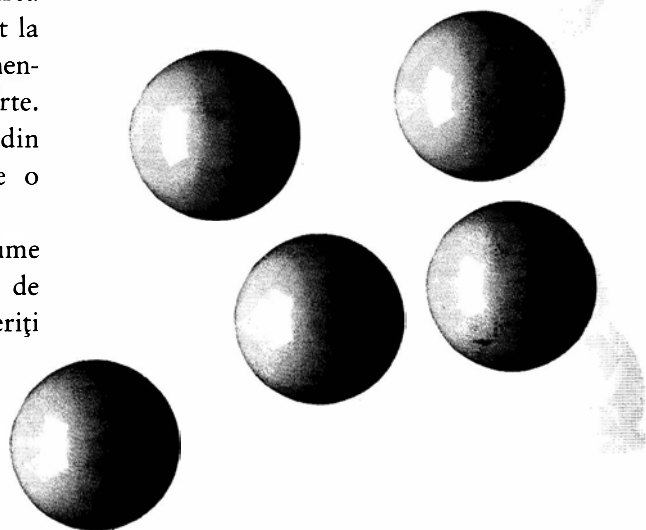


JOHN DALTON

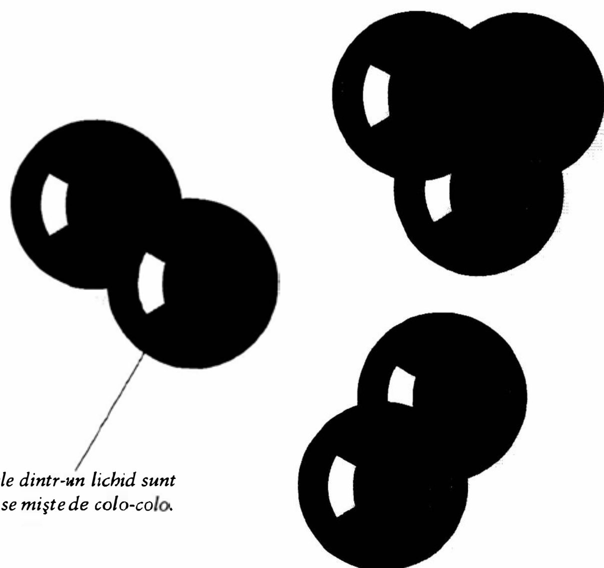
Chimistul britanic John Dalton a fost primul care a înţeles că fiecare element chimic este alcătuit din mici particule identice, numite atomi, idee care se află la baza întregii chimii moderne.

JOS **Un solid îşi păstrează structura rigidă şi forma deoarece este alcătuit din particule care sunt legate strâns împreună într-o structură, prin legături puternice.**





SUS **Particulele din gaze sunt distanţate şi se deplasează foarte rapid, iar un gaz se răspândeşte rapid pentru a umple orice incintă în care este pus.**



Particulele dintr-un lichid sunt libere să se mişte de colo-colo.

SUS **Într-un lichid, particulele se atrag reciproc şi se adună în grupuri aleatoare. Totuşi, deoarece aceste grupuri pot aluneca unul peste altul, un lichid îşi poate schimba uşor forma, curgând pentru a umple orice vas în care este pus.**

NUMĂRUL LUI AVOGADRO

Avogadro nu numai că a propus conceptul de moleculă, ci şi a găsit un mod de a număra moleculele sau atomii dintr-o cantitate dată de substanţă. Numerele obţinute din calculele sale erau extraordinar de mari, arătând cât de mici erau aceste particule. După socoteala lui Avogadro, 12 grame de carbon (grafit) conţin 6×10^{23} sau 600000000000000000000000 atomi de carbon. Acest număr imens este denumit numărul lui Avogadro sau constanta lui Avogadro, deoarece poate fi folosit pentru a afla numărul de atomi din orice probă de substanţă. Rezultatul a dat chimiştilor posibilitatea să măsoare şi să manipuleze compuşii mult mai eficient, stabilind exact ce se petrecea în orice reacţie chimică.



DREAPTA **Atomii sunt atât de mici încât dacă fiecare atom din organism ar fi de dimensiunea unghiei unui deget, organismul ar fi atât de mare încât ar putea ţine în mână întreaga lume.**

WÖHLER STINGE SCÂNTEIA VITALĂ

Înţelegerea atomilor, a elementelor şi a moleculelor datorată lui Dalton, Avogadro şi altor chimişti, a schimbat modul în care chimiştii abordau problema obţinerii substanţelor chimice în laborator.

Pentru mulţi savanţi ai epocii, chimia încă mai avea o componentă mistică – o moştenire a alchimiei – care era în special relevantă pentru aşa-numiţii compuşi organici. Azi termenul organic este folosit de chimişti pentru a se referi la chimia compuşilor carbonului (şi, în afara chimiei, pentru a denumi alimentele provenite de la animale crescute fără chimicale de sinteză), dar la începutul secolului XIX, cuvântul organic însemna numai „derivat din materia vie“. Se credea că numai fiinţele vii puteau produce compuşi organici, iar orice era de origine minerală era denumit anorganic.

Se credea că aceşti compuşi organici poartă în ei o forţă vitală; poate aceasta era ceea ce Brand căuta folosind cele 60 de găleţi de urină. În cazul în care compuşii erau simpli atomi diferiţi, legaţi împreună în molecule, aşa cum sugerau Dalton şi Avogadro, atunci unde putea să se afle forţa vitală?

În anul 1828, chimistul german Friedrich Wöhler şi-a propus să distrugă noţiunea de forţă vitală încercând să producă un compus organic fără a folosi vreo substanţă vie sau care cândva a fost vie. Wöhler a reuşit să sintetizeze uree, compusul folosit de organism pentru a excreta reziduurile care conţineau azot, folosind numai materiale simple anorganice.

Ideea unei forţe vitale, esenţa misterioasă care dă viaţă tuturor lucrurilor vii, a fost discreditată, iar viaţa a apărut în adevărata sa lumină – realizarea cea mai măreaţă a chimiei naturale, dar nu mai mult de atât.



FRIEDRICH WÖHLER
1800–1882
Wöhler a pus capăt ideii că viaţa se baza pe o forţă vitală intangibilă, sintetizând o substanţă chimică organică, ureea, din materiale simple anorganice.



CHIMIA CARBONULUI

himia organică este în principiu chimia carbonului. După epoca lui Wöhler, a devenit o știință în adevăratul sens al cuvântului, iar un secol de studii a dezvăluit un material complex. Carbonul este printre atomii cei mai prietenoși, iar cei patru electroni din învelișul său electronic îl fac excepțional de disponibil de a se combina cu alți atomi. Într-adevăr, structura sa atomică arată că atomii se leagă în lanțuri lungi, inele sau alte forme pentru a crea milioane de compuși diferiți, printre care moleculele complexe care stau la baza vieții. Procesul de formare a compușilor alcătuiți din lanțuri lungi se numește concatenare. Numai siliciul se mai apropie oarecum de această capacitate de a forma molecule mari.

Moleculele compușilor alifatici au lanțuri lungi de atomi de carbon, aranjate fie în linie, fie pe ramificații. Compușii ciclici au inele; printre ei se află compușii benzenului, care au molecule hexagonale alcătuite din șase atomi de carbon aranjați într-un ciclu, numit ciclu benzenic. Ciclurile benzenice au o aromă distinctivă, așa încât substanțele chimice care au cicluri benzenice se numesc aromatice. Multe vopsele vii de anilină sunt substanțe aromatice.

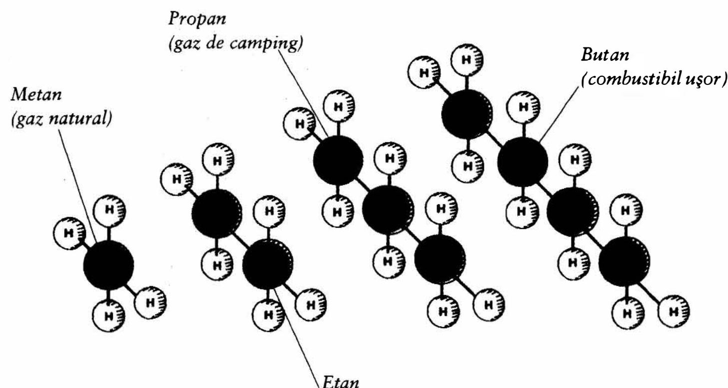
A devenit clar că mulți compuși ai carbonului conțin hidrogen. Aceia care conțin numai carbon și hidrogen se numesc hidrocarburi și se află printre cele mai importante dintre toate grupurile de substanțe organice, deoarece formează baza tuturor combustibililor fosili, precum petrolul, cărbunii și gazele naturale. Combustibilii cheie dintre hidrocarburi sunt alcanii, în care atomii de carbon au numai o legătură. Metanul (gaz natural), etanul (combustibil industrial), propanul (gaz îmbuteliat pentru camping) și butanul (un combustibil mai ușor) sunt toți alcani ușori.

Adăugarea oxigenului sub forma grupurilor hidroxil (perechi hidrogen-oxigen) transformă compușii carbonului în vastul grup al alcoolilor. Acesta include nu numai etanolul sau alcoolul etilic, lichidul magic care provoacă starea de beție, ci o întreagă varietate de alți alcooli cu diverse utilizări, de la solvenți la uleiuri esențiale în parfumerie.

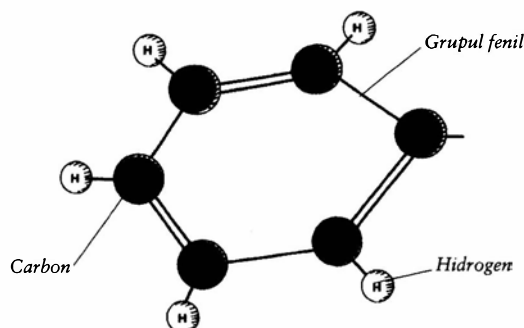
JOS STÂNGA **Alcanii sunt unul dintre cele mai importante grupuri de compuși ai carbonului. Toți sunt hidrocarburi, ceea ce înseamnă că sunt în principiu șiruri de atomi de carbon cu atomi de hidrogen atașați. Toți se găsesc în stare naturală, dizolvați în țiței.**

JOS **Spre deosebire de lanțurile compușilor alifatici ai carbonului, grupurile fenil sunt ciclice, ceea ce înseamnă că atomii lor sunt aranjați ciclic. Grupurile fenil sunt părți foarte simple ale moleculelor, alcătuite din numai șase atomi de carbon și cinci atomi de hidrogen.**

CATENE DE CARBON



CICLU AL CARBONULUI



Legătură simplă

STÂNGA **Atomii din unele molecule chimice sunt legați prin legături simple. Asta înseamnă că numai un singur electron este implicat în legătură.**

O ȘTIINȚĂ CANTITATIVĂ

În anul 1869, chimistul rus Dmitri Ivanovici Mendeléev a făcut o descoperire care a avut un impact profund asupra dezvoltării chimiei moderne. Ea a pus bazele unei revoluţii în gândire care avea să transforme chimia dintr-o chestiune de încercare şi eroare într-o ştiinţă cantitativă şi precisă.

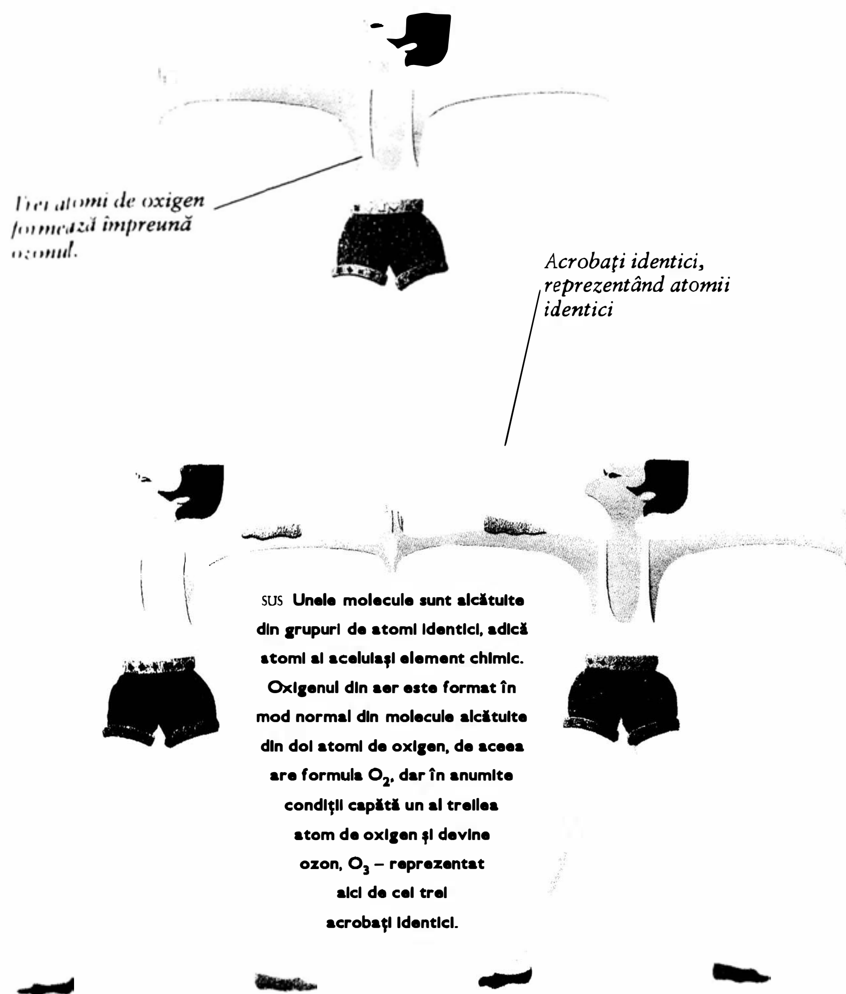
Mendeléev a observat că dacă elementele cunoscute atunci erau aranjate în ordinea maselor lor atomice, se evidenţia o periodicitate în proprietăţile lor chimice. Având nevoie de un material didactic care să-l ajute să explice acest model la cursurile sale, el a realizat un prototip al ceea ce numim azi Tabelul Periodic al Elementelor: o aranjare pe rânduri şi coloane în care fiecare element era aliniat cu celelalte care aveau proprietăţi similare.

Legătură simplă

I ·gătură simplă

Legătură dublă

STÂNGA **Atomii din alte molecule sunt legați prin legături simple și duble. Asta înseamnă că unele legături sunt făcute cu un singur electron, altele cu doi electroni. Așa este și cazul ciclurilor carbonului.**



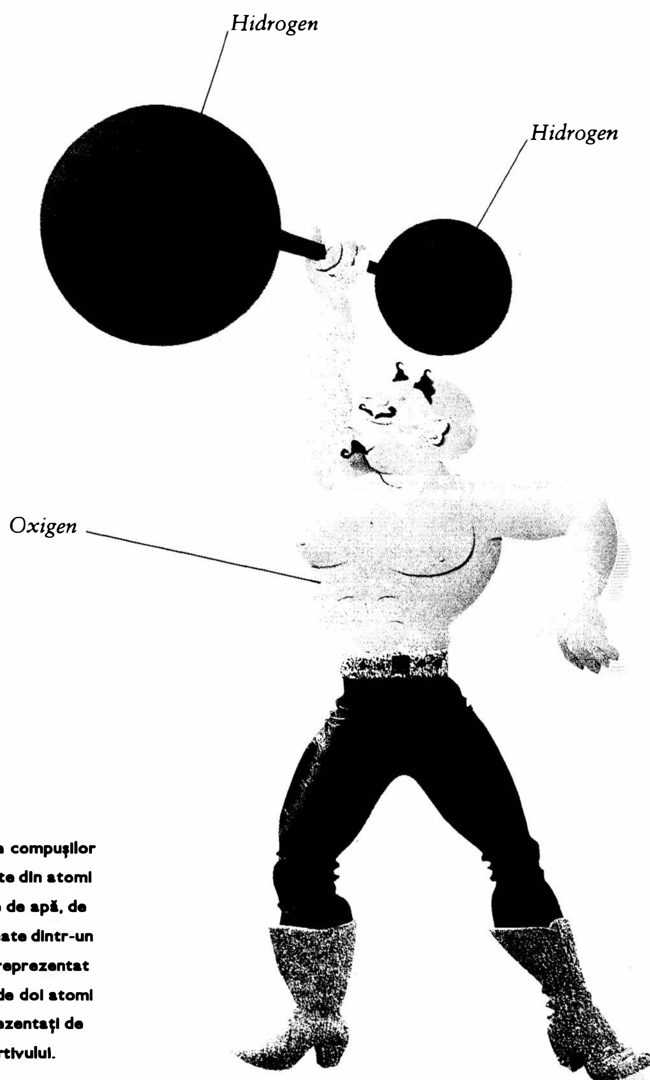
SUS **Unele molecule sunt alcătuite din grupuri de atomi identici, adică atomi ai aceluiaşi element chimic. Oxigenul din aer este format în mod normal din molecule alcătuite din doi atomi de oxigen, de aceea are formula O_2, dar în anumite condiţii capătă un al treilea atom de oxigen şi devine ozon, O_3 – reprezentat aici de cei trei acrobaţi identici.**

Anomaliile din şirul maselor atomice au fost şi ele rezolvate luând în considerare că şirul reprezenta numărul atomic – numărul protonilor din nucleul atomic – nu masa atomică, adică numărul protonilor şi neutronilor.

Deşi Tabelul Periodic a fost ulterior modificat şi extins, acest lucru a făcut numai să confirme adevărul esenţial al teoriei lui Mendeléev. Când, în anul 1955, savantul american Glenn Seaborg a sintetizat un element complet nou cu numărul atomic 101, l-a denumit mendeleeviu, în onoarea lui Mendeléev.

Alcătuind tabelul, Mendeléev a întâlnit o problemă. Dacă elementele erau plasate simplu în ordine pe rânduri, unele dintre ele nu se potriveau cu modelul vertical. Dar, în loc de a renunţa la schema sa, Mendeléev a plasat elementele acolo unde se potriveau şi a lăsat locuri libere între ele unde era necesar. Aceasta a fost o lovitură de geniu, deoarece procedând astfel, Mendeléev a presupus că mai existau elemente nedescoperite, ce s-ar potrivi perfect în spaţiile libere. El a mers până acolo încât să prezică masele atomice ale acestor elemente necunoscute şi să le descrie pe scurt proprietăţile chimice, invitând alţi chimişti să caute noile elemente care ar umple golurile.

Teoria de bază a lui Mendeléev s-a dovedit a fi adevărată când savanţii au descoperit galliul (1875), scandiul (1879) şi germaniul (1886), care se potriveau exact în locurile anticipate de el. Având aceată dovadă, sistemul lui Mendeléev a început să fie larg acceptat.



DREAPTA **Moleculele compuşilor chimici sunt alcătuite din atomi diferiţi. Moleculele de apă, de exemplu, sunt formate dintr-un atom de oxigen – reprezentat aici de sportiv – şi de doi atomi de hidrogen, reprezentaţi de greutăţile sportivului.**

MODELUL DE BAZĂ

Din perioada lui Mendeléev, am adunat laolaltă elementele şi am înţeles de ce Tabelul Periodic este un instrument atât de eficient. Unitatea de bază a fiecărui element este atomul, iar singura diferenţă reală între un element şi altul este numărul protonilor din nucleul atomului.

Fiecare element are un anumit număr de protoni în nucleul atomilor săi: numărul său atomic. Atomii de carbon au şase protoni, deci carbonul are numărul atomic şase; aurul are 79 de protoni, deci numărul său atomic este 79. Tabelul Periodic, în mod foarte simplu, aranjează elementele în ordinea numărului de protoni din nucleele lor atomice, începând cu hidrogenul, care are numai un proton. Cu cât nucleul conţine mai mulţi protoni, desigur, cu atât atomul este mai greu, deci în general, cu atât sunt mai mari şi mai grei atomii de sus în jos în tabel, cu foarte puţine excepţii.

Întrucât electronii încărcaţi negativ sunt ţinuţi în atom de către protonii încărcaţi pozitiv, numărul protonilor dintr-un atom determină de obicei numărul electronilor săi – iar acest lucru determină modul în care reacţionează cu alţi atomi. Electronii se adună în jurul nucleului într-o serie de straturi, dar există un număr maxim de electroni pe orice strat. După ce se umple un strat, electronii în plus încep un nou strat. Un atom cu un strat exterior plin este foarte stabil şi nereactiv.

Atomii care au numai unul sau doi electroni într-un strat exterior sunt foarte reactivi, deoarece încearcă fie să dobândească electroni de la atomii altor elemente pentru a-şi completa stratul, fie să scape de surplusul lor, găsind un atom care are nevoie de unul sau doi electroni.

Acum este clar că Tabelul Periodic reflectă foarte precis acest lucru. Coloanele sau grupele din tabel reflectă chiar numărul de electroni din stratul superior al atomului. Fiecare element dintr-o anumită grupă are acelaşi număr de electroni în straturile sale exterioare şi se comportă chimic în acelaşi mod.

Rândurile sau perioadele corespund, într-o anumită măsură, numărului de straturi electronice: pot exista până la şapte straturi electronice în jurul nucleului atomic şi există şapte perioade. Pe măsură ce vă deplasaţi element cu element de la stânga la dreapta de-a lungul unei perioade, de la grupă la grupă, electronii sunt adăugaţi unul câte unul. Fiecare perioadă începe din stânga cu un metal alcalin foarte reactiv, cu numai un electron în stratul exterior, şi se termină în dreapta cu un gaz nobil stabil, care are opt electroni.

EXTINDEREA TABELULUI

De atunci, chimiştii au extins Tabelul Periodic, creând tot mai multe elemente sintetice în reactoarele nucleare şi în acceleratoarele de particule. Seaborg însuşi a reuşit să producă plutoniu şi peste nouă alte elemente artificiale. Tabelul Periodic din prezent are peste 100 de elemente, iar lui Mendeléev i s-ar părea de nerecunoscut. Complexităţile tabelului modern permit existenţa unor grupuri în interiorul grupurilor, ceea ce ajută la explicarea proprietăţilor periodice ale elementelor celor mai recent descoperite – cele radioactive şi metalele grele cu viaţă scurtă. Mendeléev pur şi simplu nu a ştiut cum să lase spaţii pentru elemente ca neptuniu, berkeliu sau elementul 106 – numit până de curând unilhexiu, dar redenumit recent seaborgiu în onoarea savantului care a stabilit regulile de bază pentru crearea acestor elemente.

TABELUL PERIODIC

SUS **Unul dintre cele mai mari progrese din chimie a fost inventarea Tabelului Periodic de către Dmitri Mendeléev. Tabelul periodic stabilea atât de clar relaţia dintre toate elementele, încât era posibil să fie prezisă existenţa elementelor chiar înainte să fie descoperite.**

Tabelul listează toate elementele conform numărului de protoni din atom – numărul atomic – în rânduri de la stânga la dreapta, numite perioade, şi în coloane numite grupe. Elementele chimice din fiecare grupă au caracteristici similare.

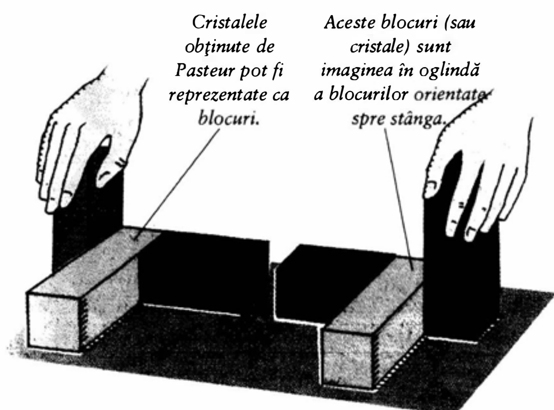
OGLINZI MOLECULARE

După ce savanţii au înţeles natura moleculelor şi modul în care atomii se îmbinau pentru a le forma, s-au confruntat cu diferite enigme.

În timpul secolului XIX, s-a descoperit că unele substanţe aveau un efect ciudat asupra unei raze de lumină. O rază de lumină poate fi polarizată când trece printr-un filtru care permite numai undelor dintr-un singur plan – să zicem orizontal – să treacă. Dacă raza emergentă trece apoi printr-o soluţie a anumitor tipuri de compuşi, acest plan de polarizare este răsucit sub un anumit unghi. Deci dacă raza porneşte de pe orizontală, poate fi înclinată cu 30 de grade deasupra sau dedesubtul acestui plan, în funcţie de tipul soluţiei. Acidul tartaric – un produs secundar al fermentaţiei vinului – a fost printre compuşii care prezentau acest efect de distorsiune asupra luminii. Nimeni nu putea explica motivul.

Chimiştii credeau că acidul tartaric era identic cu compusul denumit acid racemic. Compuşii reacţionau cu alte substanţe exact în acelaşi mod, aveau acelaşi gust şi nu existau diferenţe în proprietăţile lor fizice. Singura concluzie logică era că erau de fapt acelaşi compus, cu excepţia faptului că acidul tartaric polariza lumina în timp ce acidul racemic nu făcea asta. Diferiţi savanţi au încercat să rezolve misterul, dar a fost nevoie de un gigant al ştiinţei – Louis Pasteur – care să arunce o privire mai atentă şi să ofere o soluţie.

CHIRALITATEA MOLECULARĂ



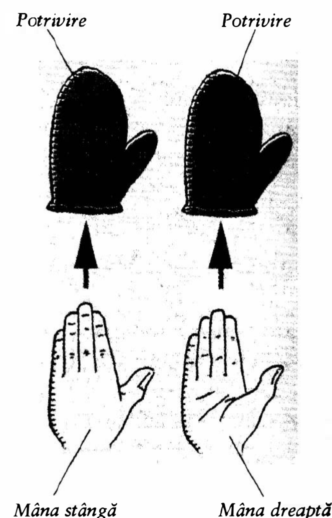
Pasteur, renumit pentru cercetările sale medicale şi pentru procesul de pasteurizare, denumit în cinstea lui, a recristalizat acid tartaric şi acid racemic în recipiente separate şi a obţinut cristale de sare de amomiu şi sodiu. Când a examinat cristalele la microscop a văzut că în acidul racemic existau cristale de două forme diferite, care erau fiecare imaginea celuilalt în oglindă, în cantităţi egale. Totuşi, nu existau imagini în oglindă în cristalele de acid tartaric. Chiar mai interesant a fost faptul că cristalele formate de acidul tartaric erau identice ca formă unui set din cristalele formate de acidul racemic.

MOLECULE CHIRALE

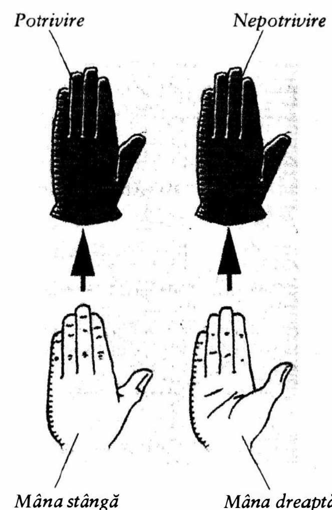
Folosind penseta şi mâna sa foarte sigură, Pasteur a separat cristalele de diferite forme şi le-a folosit pentru a face soluţii separate. Când a trecut lumină polarizată prin soluţii, a descoperit că distorsionau lumina în direcţii opuse. Pasteur a tras concluzia că diferenţa dintre ele trebuie să se datoreze modului în care lumina trece printre moleculele individuale, iar acele cristale „în oglindă" trebuie să fie alcătuite din molecule simetrice ale aceluiaşi compus. Aceste molecule în oglindă se numesc molecule chirale, de la denumirea grecească pentru mână (chiara), deoarece unele sunt orientate spre stânga şi celelalte spre dreapta. Nu există un mod de a le suprapune (una peste alta).

De exemplu, aminoacidul numit alanină, care este folosit de organism pentru a produce una dintre vitaminele complexului B, are molecule complexe alcătuite fiecare dintr-un grup amino, un grup metil, un atom de hidrogen şi un grup al acidului carboxilic, toate ataşate unui atom central de carbon. Dacă inversaţi poziţia oricăror două grupuri – grupurile amino şi metil, de exemplu – molecula rezultantă devine imaginea în oglindă a celei originale.

RECEPTOR NON-CHIRAL



RECEPTOR CHIRAL



SUS **Existenţa moleculelor în oglindă are efecte importante pentru organism. Unii receptori nervoşi, de exemplu, sunt non-chirali, adică acceptă şi moleculele orientate spre stânga şi moleculele orientate spre dreapta. Alţii sunt chirali, ceea ce înseamnă că acceptă numai una dintre molecule.**

STÂNGA **Louis Pasteur, cunoscut pentru descoperirea procesului de pasteurizare, a descoperit şi că sărurile complexe de sodiu şi amoniu formează două molecule diferite care sunt fiecare imaginea în oglindă a celeilalte.**



STÂNGA **În organismul uman există mulţi receptori care sunt chirali şi reacţionează în diferite moduri la izomerii chirali ai diferitelor molecule chimice. Anumite molecule chirale joacă un rol crucial în dezvoltarea normală foetusului în uter.**

MOLECULE ÎN OGLINDĂ DIN ORGANISM

În mod uimitor, aminoacizii produşi natural în fiinţele vii sunt aproape întotdeauna cei orientaţi spre stânga. Există multe teorii despre originile acestei chiralităţi naturale, invocând influenţe ca radioactivitatea sau chiar activitatea meteoriţilor. Oricare ar fi originea fenomenului, totuşi, chiralitatea are consecinţe care se extind dincolo de câteva efecte optice curioase. În particular, este foarte important când o moleculă chirală întâlneşte alta într-o reacţie chimică.

Receptorii de miros care se află în nas sunt molecule proteice chirale. Aceşti receptori au pe suprafaţă un fel de buzunar în care moleculele mirositoare intră precum mâna în mănuşă. Ca rezultat, este declanşată o reacţie chimică ce trimite semnalul mirosului către creier. Deci când versiunile cu diferite orientări ale aceleiaşi molecule încearcă să intre într-un receptor, ele declanşează diferite reacţii. O formă de limonină chimică, de exemplu, miroase a lămâie, dar molecula ce este imaginea sa în oglindă miroase a portocale.

În medicină, fenomenul de chiralitate are consecinţe grave, chiar tragice. Medicamentul numit talidomidă este un astfel de exemplu. În forma cu o anumită orientare, talidomida reduce greţurile matinale ale femeilor însărcinate. Imaginea sa în oglindă, totuşi, are efecte devastatoare asupra dezvoltării intrauterine a creierului copilului.

După tragedia talidomidei au fost făcute mari eforturi de a dezvolta izomeri ai medicamentelor cu aceeaşi orientare pentru ca un astfel de eveniment să nu se repete. Talidomida însăşi nu putea fi produsă în vreo formă sigură deoarece organismul converteşte izomerii chirali unul în altul. Totuşi, nu toate medicamentele chirale sunt transformate astfel şi deci chiralitatea controlată poate fi utilizată şi pentru a mări eficienţa unui medicament. Analgezicul denumit ibuprofen, de exemplu, este o substanţă chirală; niciunul dintre izomeri nu are efecte secundare grave, dar unul dintre ei este de trei ori mai eficient decât ceilalţi. Asigurându-ne că medicamentul are izomerul molecular cel mai eficient maximizăm eficienţa medicamentului şi reducem doza necesară.



SUS **Medicamentul numit talidomidă a avut consecinţe tragice din cauza ignorării reacţiei chirale a receptorilor foetusului aflat în dezvoltare. Unul dintre izomerii medicamentului reducea greţurile matinale ale femeilor însărcinate; celălalt a avut efecte teribile asupra copilului din uter.**

STÂNGA, DREAPTA, STÂNGA, DREAPTA...

Deoarece moleculele chirale de diferite orientări reacţionează adesea foarte diferit cu alţi compuşi chirali, chimiştii caută întotdeauna metode de a crea numai forma chirală potrivită pentru medicamente şi alte substanţe chimice, cum sunt pesticidele.

Cea mai simplă metodă este de a produce ambele forme chirale, apoi de a le separa folosind un aparat de filtrare care poate distinge între cele două forme, deoarece este el însuşi chiral. Specialiştii în chimie industrială pot separa compuşii pe baza vitezei cu care trec printr-un material ce conţine un compus chiral. Dacă un amestec de izomeri chirali trece printr-o coloană de material, o formă va adera mai ferm la compusul chiral decât cealaltă şi astfel îi va lua mai mult timp să treacă. Chimistul poate aduna prima formă chirală pe măsură ce trece prin coloană, apoi să o adune pe a doua în alt recipient.

Astfel de sisteme obţin substanţele dorite, însă risipesc jumătate din materialul original. De aceea, chimiştii caută metode mai eficiente de a obţine de la început numai o formă a moleculei respective. O metodă este folosirea aşa-numitelor auxiliare chirale. Acestea sunt grupe chimice care au şi ele câte două forme imagini în oglindă, deci astfel adaugă chiralitate oricărei molecule la care sunt ataşate. La Universitatea Oxford, Stephen Davies şi alţii pun la punct metode de a adăuga rapid auxiliare chirale la materiile prime, astfel ca să poată forţa numai una dintre cele două posibile, creând numai forma de o anumită orientare. Apoi ei pot îndepărta auxiliarul chiral, obţinând un produs chiral pur.

Alţi cercetători folosesc enzimele, catalizatorii chirali ai naturii. Enzimele sunt proteine alcătuite din aminoacizi legaţi împreună şi aranjaţi într-o structură tridimensională; tridimensionalitatea îi face să fie chirali. De obicei, reacţionează numai cu forma de o anumită orientare a moleculei-ţintă, deci dacă materia primă a chimistului este un amestec de forme chirale, reacţia de tratare cu enzima potrivită va conduce numai la o formă chirală a produsului.

CICLURI ŞI CATENE

În timp ce izomerii unor molecule sunt simetrici faţă de o axă sau un plan (având orientare spre stânga sau spre dreapta), altele pot avea o varietate de forme. În ultima parte a secolului XIX, un savant german, Emil Fischer, a făcut unii dintre paşii cei mai importanţi către înţelegerea chimiei carbonului, determinând structurile unei varietăţi de molecule de zaharuri. El a descoperit că o moleculă de sucroză, de exemplu – zaharul pe care mulţi dintre noi îl amestecă în cafea – este alcătuită dintr-o moleculă de glucoză şi una de fructoză legate împreună. Glucoza şi fructoza sunt exemple ale aşa-numitelor zaharuri simple, care pot fi descrise ca cicluri de cinci atomi de carbon şi un atom de oxigen cu variate grupe hidroxil (hidrogen-oxigen) ataşate în diferite puncte.

Oricât de simplă ar părea această idee, Fischer a descoperit că există 16 moduri diferite de aranjare a grupelor hidroxil în jurul ciclului zaharului şi că fiecare aranjament diferit produce un alt zahar. În anul 1888, când Fischer îşi făcea cercetările, savanţii ştiau că glucoza era un astfel de ciclu, dar nu ştiau care dintre cele 16 posibile aranjări ale grupei hidroxil era.

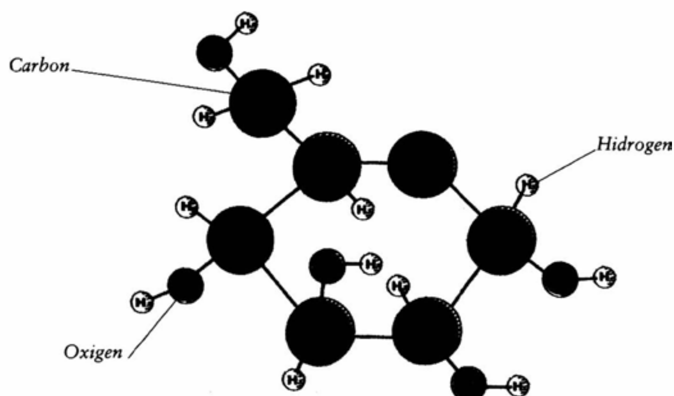
Fischer a deschis ciclul de atomi de carbon şi oxigen din glucoză pentru a crea o structură de lanţ deschis. Apoi a efectuat o serie sistematică de reacţii chimice simple care aveau să indice unde era poziţionată grupa hidroxil pe catenă şi în ce direcţie era orientată.



EMIL FISCHER
1852–1915
Fischer este savantul german care a descoperit structura şi forma moculelelor zaharurilor simple. Aceasta s-a dovedit a fi una dintre cele mai importante descoperiri din chimia organică.

JOS **Marea descoperire a lui Fischer legată de structura moleculară a zaharurilor era axată pe variaţiile unei structuri ciclice simple. Fiecare zahar are acelaşi ciclu de bază, alcătuit din cinci atomi de carbon şi un atom de oxigen. Dar grupele hidroxil, adică grupele de hidrogen şi oxigen, sunt ataşate în 16 moduri diferite acestui ciclu de bază – iar fiecare mod duce la alt tip de zahar.**

MOLECULA DE GLUCOZĂ





SUS **Corpurile noastre sunt echipate cu numeroase reacţii imune la diferiţi intruşi. Acestea includ globulele albe care înghit şi distrug celulele infectate, atunci când sunt alertate de prezenţa anticorpilor, care se prind de fragmentele proteice ale intruşilor. Aici, o globulă albă înghite un organism de forma unei mingi. Apoi intrusul va fi digerat de către enzime.**

Molecule de zahăr

Prin extrapolare logică în sens invers, el a putut apoi să reconecteze ciclul şi să demonstreze care era aranjamentul din molecula iniţială. Există numeroase diferite tipuri de zaharuri şi ele joacă un rol vital în toate sistemele vii. Şi plantele şi animalele, de exemplu, folosesc glucoza pentru a obţine energie. Energia este eliberată în timp ce reacţii complexe în lanţ – de obicei implicând oxigenul – desfac molecula de glucoză în organism. De obicei, plantele stochează glucoza sub formă de amidon, iar animalele o înmagazinează ca glicogen.

Munca lui Fischer a dus la înţelegerea structurii zaharurilor, care devine tot mai importantă pe măsură ce se fac noi descoperiri despre efectele lor asupra organismului. De exemplu, zaharurile formează punţi între şirurile de proteine în timp ce îmbătrânim, făcându-ne ţesuturile mai puţin flexibile. O reacţie similară se produce când sunt gătite multe dintre mâncăruri – deci îmbătrânirea este oarecum un fel de proces de coacere lentă. Pe de altă parte, zaharurile sunt vitale pentru supravieţuirea noastră.

Glucoza este zaharul transportat de către sânge, furnizând energie celulelor pentru întreţinere şi creştere. Corpurile noastre folosesc, de asemenea, lanţuri de diferite molecule de zahăr, numite oligozaharide, la multe lucruri diferite, ca încetinirea celulelor sângelui când ţesuturile se inflamează, permiţând producerea vindecării.

Catene de zahăr

Printre multe alte funcţii pe care le au în organism, zaharurile ajută la coordonarea sistemului nostru imunitar pentru a distruge ţesuturile străine care ar exista în interior. Conform studiilor efectuate de expertul Raymond Dwek de la Universitatea Oxford, unu la sută din anticorpii aflaţi în sânge sunt îndreptaţi către un anumit zahar care se află în ţesuturile tuturor animalelor, cu excepţia noastră. Acest zahar este cheia xenotransplantului – transplantarea unui organ de la altă specie la om. Prezenţa sa în ţesuturile animale înseamnă că atunci când un organ al unui animal este transplantat în organismul uman, acei unu la sută dintre anticorpii noştri sunt imediat îndreptaţi în căutarea sa şi spre distrugerea ţesutului străin. Presupunând că nu ar exista obiecţii de natură etică asupra transplantului, găsirea unui mod de a bloca această reacţie fatală ar ajuta organismul pacientului să accepte ţesutul donatorului şi să-i salveze viaţa.

Totuşi, în studierea acestor zaharuri, savanţii întâlnesc o problemă majoră – este foarte dificil de experimentat în laborator, de aceea studierea lor este extrem de costisitoare. În locul glucozei cu un singur ciclu – o monozaharidă – zaharurile care activează anticorpii sunt alcătuite din mai multe cicluri înlănţuite – numite oligozaharide. Asta înseamnă că cele 16 aranjamente posibile ale grupelor hidroxil în glucoză pot fi multiplicate cu trei, patru, cinci şi aşa mai departe. Conform unui expert – David Crout de la Universitatea Warwick din Anglia – fiecare unitate suplimentară de zahar dintr-un lanţ poate necesita mai multe săptămâni de muncă, iar o anumită oligozaharidă costă cinci milioane de lire sterline gramul (1 liră sterlină ≈ 5 RON în anul 2008, n. trad.). Aceasta este una dintre mărfurile cele mai scumpe din lume.

Crout şi echipa lui au găsit o metodă de reducere a costurilor folosind catalizatorii bazaţi pe enzime ai naturii pentru a grăbi şi a controla procesul de sinteză. Problema de bază este că amestecarea zaharurilor într-o eprubetă duce la un sirop, nu la o moleculă dulce pură. Natura, desigur, a găsit o soluţie a problemei sub forma enzimelor. Enzimele controlează modul în care moleculele succesive de zahăr sunt adăugate la un lanţ în creştere, astfel ca numai lanţul de zaharuri dorit să se formeze în celulele unui animal.

ENZIMELE

Echipa lui Warwick a stabilit că, în loc de a-şi petrece timpul încercând să găsească metode de a obţine chimic lanţuri de zaharuri, vor urma exemplul naturii şi vor folosi enzimele, dar în sens invers. Ei au studiat un grup de enzime numite glicozidaze. În mod normal, acestea descompun lanţurile de zaharuri din organismele vii, pentru a fi reciclate şi folosite de către celule ca parte a metabolismului lor zilnic, dar cercetătorii au descoperit că, în condiţiile chimice potrivite, puteau face enzima să unească două zaharuri. Munca lor ar putea reduce în mod semnificativ costul sintetizării acestor zaharuri complexe, cu implicaţii profunde – poate chiar controversate – pentru viitorul transplanturilor de ţesuturi.

CATALIZATORI ŞI ENZIME

Catalizatorii sunt agenţii intermediari ai lumii chimice, uşurând relaţiile dintre elemente şi compuşi şi încurajând reacţiile – dar fără a se implica ei înşişi. Fără ei, nu s-ar face marea majoritate a compuşilor produşi de om.

Fiecare reacţie necesită o anumită cantitate de energie pentru a se desfăşura, numită energie de activare. O lumânare nu va arde, de exemplu, până când nu o aprindeţi cu un chibrit. Catalizatorii funcţionează oferind o cale alternativă pentru o reacţie şi reducând energia de activare. Într-o rachetă, de exemplu, obţinerea combinaţiei de hidrogen şi oxigen care asigură propulsia este facilitată de un catalizator metalic, de obicei platină.

Lumea vie se bazează total pe catalizatorii naturali numiţi enzime. Aceştia sunt molecule proteice mari, complexe, iar fiecare este foarte specială, funcţionând pentru un anumit tip de reacţie. Pot fi denaturaţi – modificaţi – la temperaturi de peste 60°C, în condiţiile prezenţei excesive a acizilor sau a bazelor. Detergenţii biologici, care sunt bazaţi numai pe enzime, folosesc mult mai puţină căldură, nu numai pentru a economisi energia, dar şi deoarece căldura excesivă le distruge enzimele.

SUS Un chibrit aprins oferă energia necesară pentru a începe reacţiile chimice ale unei lumânări care arde.

ANALIZĂ ŞI SINTEZĂ

Chimiştii au acum la îndemână o multitudine de tehnici pentru a manevra compuşii carbonului, de la simplul metan la zaharurile complexe şi la polipeptide (baza proteinelor). Dar nu a fost mereu aşa uşor.

Adevărata cucerire făcută în chimia organică sau chimia carbonului s-a produs în anii 1960, când profesorul Elias J. Corey de la Universitatea Harvard şi laureat al premiului Nobel a dezvoltat o metodologie denumită analiză retrosintetică. Tehnica a devenit unul dintre cele mai puternice instrumente pe care le aveau la dispoziţie chimiştii de a construi molecule organice complexe şi mari din materii prime cu molecule mai mici, mai uşor disponibile – şi, de obicei, considerabil mai ieftine.

Metoda funcţionează imaginând molecula-ţintă ca un puzzle. Lucrând în sens invers, începând de la ţintă, este posibilă căutarea unor compuşi chimici care, când reacţionează, se vor asambla în puzzle-ul complet sub influenţa catalizatorilor şi a reactivilor.

Un asemenea mister chimic a atras atenţia întregii lumi. Taxolul este un compus natural extras din scoarţa arborelui de tisa din Pacific, denumit ştiinţific *Taxus brevifolia*. Acesta se comportă ca armă defensivă naturală pentru arbore, înarmându-l împotriva bolilor şi dăunătorilor, dar este şi o apărare eficientă împotriva anumitor forme de cancer al oamenilor. Rezultatele testelor au fost atât de încurajatoare încât savanţii au început să solicite mostre din substanţa chimică astfel ca să poată studia modul cum funcţionează.

Era o problemă, totuşi. Chiar şi un arbore de tisa de o sută de ani produce numai cantităţi infime de taxol – circa 300 de miligrame la trei kilograme de scoarţă – şi nu este nici pe departe suficient pentru a satisface cererea în creştere. În consecinţă, taxolul este extrem de scump, deci în timp ce unii cercetători căutau surse alternative, precum acele tisei europene, chimiştii au început să caute un mod de a produce taxol în laborator.

Compusul este în principiu alcătuit din sisteme de cicluri de carbon cu mai multe grupuri diferite izolate în jurul fiecărui ciclu. Folosind analiza retrosintetică pentru a determina ce părţi componente se pot potrivi pentru a completa imaginea,



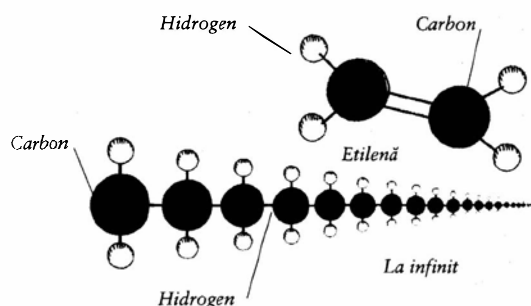
SUS **Când mâncăm o îngheţată, organismul foloseşte enzimele chimice pentru a descompune lanţurile de zaharuri. Chimiştii le folosesc pentru a construi astfel de lanţuri.**

POLIMERII

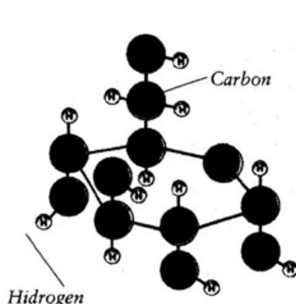
Polimerii sunt substanţe alcătuite din mii de mici molecule având la bază carbonul, numite monomeri, care sunt unite în lanţuri lungi. Cele mai multe mase plastice sunt polimeri obţinuţi din etenă, unul dintre produşii obţinuţi din petrol. Când etena este încălzită sub presiune, moleculele ei se unesc în lanţuri cu peste 30000 de mii de legături. Aceste molecule lungi se înfăşoară precum spaghetele, iar modul în care se înfăşoară dă plasticului forţă sau flexibilitate. Dacă firele sunt ţinute strâns laolaltă, plasticul este dur. Dacă firele alunecă uşor unul peste altul, plasticul este flexibil, ca polietilena. Iar forţarea moleculelor prin mici orificii le aliniază pentru a crea fibre precum nailonul.

Masele plastice sunt fabricate de om, dar unii polimeri se găsesc în stare naturală. Polimerii de zahăr – care sunt polimeri de carbohidraţi alcătuiţi din lanţuri de carbon, hidrogen şi oxigen – joacă un rol-cheie în schimburile de energie, atât din plante cât şi din animale. Plantele înmagazinează energie sub forma polimerului numit amidon, o polizaharidă complexă alcătuită din mii de unităţi de carbohidraţi. Animalele înmagazinează energia sub forma polimerului de zahăr numit glicogen. Aceşti polimeri pot fi descompuşi de enzime în zaharuri mai simple, cum este glucoza. Ei pot fi legaţi şi împreună în diferite moduri pentru a forma polimeri structurali. Celuloza este un astfel de polimer natural, din care sunt alcătuite toate celulele plantelor. Ea stă la baza fibrelor lemnului şi bumbacului, deci ambele sunt materiale plastice naturale.

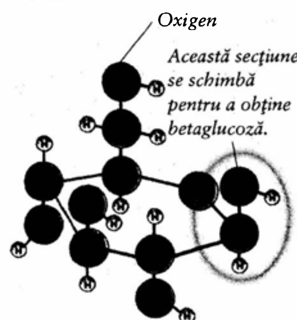
ETILENA ŞI POLIETILENA



ALFA-GLUCOZĂ



BETA-GLUCOZĂ



SUS STÂNGA **Polimerii, precum etilena şi polietilenele, sunt molecule formate din lanţuri lungi de atomi de carbon, de obicei cu ramificaţii de hidrogen.**

SUS DREAPTA **Moleculele de glucoză, alcătuite din cicluri de carbohidraţi, pot fi şi ele unite în lanţuri lungi pentru a forma polimeri naturali, precum amidonul.**

două grupuri de cercetători – unul condus de Kyriacos Nicolaou de la Scripps Research Institute din California şi unul condus de Robert Holton de la Florida State University – au reuşit în final să imagineze mai multe metode diferite de a obţine taxol din compuşi chimici mult mai simpli.

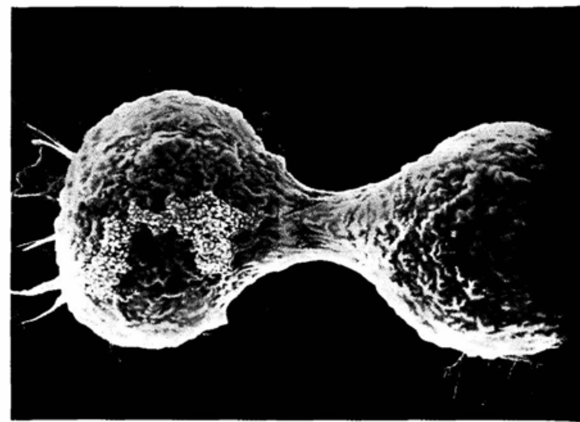
Cele două grupuri au folosit abordări uşor diferite. Grupul lui Holton a început cu un compus precursor ieftin, camforul, şi a construit structura complexă printr-un şir de multe reacţii. După ce au obţinut sistemul de cicluri, au adăugat catenele laterale.

Echipa lui Nicolaou, pe de altă parte, a folosit o abordare convergentă. Ei au obţinut cele două cicluri principale, au adăugat variatele grupuri chimice, apoi le-au cuplat la un loc. Ambele abordări par mai degrabă simple când sunt descrise astfel, dar numărul mare de reacţii pe care le implică au necesitat doi ani pentru perfecţionarea metodelor.

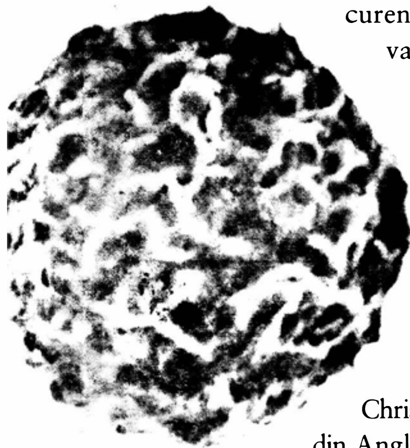
O asemenea cercetare are o dimensiune suplimentară valoroasă, deoarece producând taxolul, chimiştii pot face variaţiuni pe aceeaşi temă principală, variaţiuni care ar putea fi de fapt mai convenabile şi eficiente, cu mai puţine efecte secundare. Ele ar putea fi şi mult mai ieftine, aducând aşteptata alinare bolnavilor de cancer din întreaga lume.

VACCINURILE MOLECULARE

Grupurile de cercetători din toată lumea studiază posibilitatea de a crea vaccinuri împotriva bolilor pentru care nu există medicamente eficiente pe termen lung. Noua abordare implică folosirea substanţelor chimice pentru a stimula sistemul imunitar, în locul vaccinurilor convenţionale. Una dintre cele mai periculoase boli – meningita meningococică – ar putea fi învinsă astfel într-o zi, în cazul în care cercetările curente se dovedesc reuşite. Problema unui vaccin de tip convenţional pentru această boală este că suprafaţa bacteriei meningitei este complexă, anumite componente sunt toxice, iar altele pot bloca activitatea anticorpilor protectori. Aceasta înseamnă că producerea unui vaccin bazat pe bacterie, care este abordarea obişnuită, nu este posibilă.



DREAPTA **Această imagine de micrograf cu scanare electronică înfăţişează diviziunea unei celule a cancerului de sân. Cercetătorii cred că aceste forme de cancer sunt numai o parte din bolile pentru care ar fi posibilă dezvoltarea vaccinurilor moleculare. Vaccinul va activa apărarea naturală a organismului pentru a lupta împotriva celulelor canceroase.**



SUS **Globulele albe sunt unul dintre elementele-cheie ale apărării organismului împotriva bolilor. Dar ele intră în acţiune şi sub influenţa anticorpilor plasaţi pe celulele care provoacă boli. Vaccinurile moleculare vor ajuta organismul să dezvolte anticorpii necesari pentru a oferi organismului o protecţie eficientă.**

Specialistul în microbiologie moleculară John Heckels şi colegul său, Myron Christodoulides de la Universitatea Southampton din Anglia încearcă o altă strategie. Ei lucrează pe proteine numite peptide antigenice, care în cantităţi infime acţionează ca semnale pentru sistemul imunitar al organismului pentru a ataca agenţii patogeni care provoacă boala. Asemenea substanţe chimice sunt numite vaccinuri moleculare.

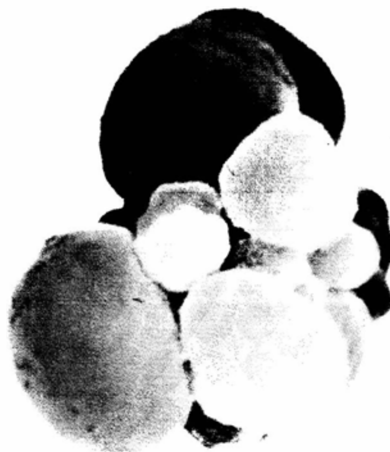
Vaccinurile moleculare nu vor se vor limita la învingerea meningitei. Ele oferă speranţa de a declanşa reacţia noastră naturală de apărare împotriva celulelor infectate cu viruşi şi a celulelor canceroase şi ar putea fi capabile de a bloca acţiunea distructivă a celulelor care afectează ţesuturile, în boli precum artrita şi scleroza multiplă. Iar întrucât sistemul imunitar al organismului este cel care face toată treaba, ar trebui ca efectele secundare să fie minime. Există un obstacol major în metoda vaccinului perfect, totuşi: identificarea mai întâi a componentelor active, care există în asemenea cantităţi infime.

Fiecare celulă din organism conţine circa 10000 de proteine diferite. Aceste proteine sunt în continuu curăţate din interiorul celulei de către enzimele care le descompun în fragmente mai mici, apoi le duc la suprafaţa celulei, de unde sunt îndepărtate de către alte celule. Când o celulă se modifică, aşa cum se întâmplă în cazul cancerului, sau când este infectată de un virus, acest proces de curăţare continuă, dar noi proteine sunt descompuse în interiorul celulei – cele generate de virus sau produse de cancer.

Sistemul nostru imunitar are două sisteme principale de căutare şi distrugere pentru detectarea acestor proteine nocive de la suprafaţa celulelor şi de a învinge astfel boala.

Primul implică anticorpii care se prind de fragmentele străine de proteine şi trimit semnale către globulele albe pentru a distruge celulele bolnave. Al doilea este bazat limfocitele T ucigaşe, care supraveghează suprafaţa celulelor şi detectează rapid apariţia unor fragmente străine de proteine. Limfocitele T lansează apoi un atac pentru a distruge celulele bolnave.

Când sistemul detectează prezenţa celulelor nesănătoase, produce simptomele bolii respective. Totuşi numai cantităţi infime de peptide antigenice se află la suprafaţa celulelor, deci tehnicile analitice foarte sofisticate ale chimiei trebuie folosite pentru a le izola şi identifica. Din fericire, după ce sunt detectate, peptidele sunt de fapt relativ uşor de sintetizat, purificat şi standardizat, deci vaccinurile moleculare ar putea deveni curând o realitate cotidiană.



DREAPTA **După ce anticorpii alertează globulele albe despre prezenţa invadatorilor, acestea se adună rapid la locul infecţiei, înghiţind celulele intruse şi distrugându-le cu ajutorul enzimelor.**

TANDEMURI, CASCADE ȘI DOMINOURI

În mod ideal, chimiştii aleg piese ieftine şi uşor disponibile pentru puzzle-urile lor moleculare, care se îmbină lăsând în urmă numai mici cantităţi de produşi secundari. Realizarea acestui ideal necesită aptitudini, timp şi energie, totuşi, pentru fiecare piesă a unui puzzle molecular sunt necesare în mod normal numeroase modificări pentru a o face să se potrivească bine. Aceasta creşte potenţialul reacţiilor secundare, ceea ce duce la cantităţi reduse din produsul vizat, care trebuie apoi purificate folosind mai multă energie. Adesea, piesele din puzzle sunt mini-puzzle-uri în sine, care trebuie rezolvate. Astfel, în ciuda celor mai bune intenţii şi a muncii grele a chimiştilor, sinteza moleculelor complexe va însemna adesea materiale risipite şi solvenţi murdari.



SUS **Teoretic, noile substanțe chimice pot fi create și testate pe computer, dar tot vine un moment în care ideile virtuale trebuie verificate cu substanțe reale. Aici, un chimist folosește o cameră izolată pentru a lucra la medicamente bazate pe prețiosul metal numit platină. Printre asemenea medicamente se află și cel numit cisplatin, folosit împotriva cancerului.**

REACȚII CHIMICE

O reacție chimică este un proces care transformă o substanță în alta. În mod crucial, implică alăturarea a diferitelor elemente chimice și a diferiților compuși, ale căror constituente sunt rearanjate pentru a forma noi compuși și alte elemente chimice. La nivel de bază, implică întâlnirea atomilor, a ionilor și a moleculelor și schimbul de electroni între ele. Deși noile substanțe formate după o reacție trebuie să conțină exact aceiași atomi, foarte puține reacții sunt în mod natural reversibile. După ce cărbunele este ars până se face cenușă, cenușa este imposibil să fie transformată în cărbune. Reacțiile dintre substanțele chimice sunt esențiale pentru funcționarea lumii, indiferent că este vorba despre fotosinteza plantelor, care transformă apa și dioxidul de carbon în zahăr, sau despre descompunerea acelor molecule de zahăr în reacția cu oxigenul pentru a da organismului putere musculară.

Unii atomi sunt considerabil mai reactivi decât alții. În principiu, reactivitatea unui element depinde de disponibilitatea sa de a capta sau a ceda electronii folosiți la legături. Diferitele elemente pot fi plasate în seriile de reactivitate conform capacității lor de reacție. Metale ca potasiul și sodiul sunt foarte reactive și rareori pot fi întâlnite în stare elementară (pură). Aurul are reactivitte redusă și poate supraviețui în formă pură aproape indefinit.

Unul dintre punctele de vedere prin prisma căruia pot fi examinate eficient seriile de reactivitate este electronegativitatea, ușurința cu care un atom poate atrage electronii. Aceasta depinde de valența atomului și a fost punctul de pornire al unei scale complete, care prezice forța legăturii, scală creată de către Linus Pauling în cadrul uneia dintre importantele descoperiri chimice ale secolului XX. Factorul cheie este numărul de electroni din stratul exterior al atomului.

Gazele nobile ca argonul și criptonul sunt toate nereactive, deoarece stratul lor exterior este complet. Oxigenul, având patru electroni lipsă în stratul său exterior, este foarte reactiv. Atomii cu mai puțini electroni lipsă sunt mai puțin reactivi, dar tot sunt mult mai disponibili de a reacționa decât gazele nobile, lipsite de disponibilitate de reacție.

FOTOSINTEZA



SUS **Fotosinteza ce se desfășoară în frunze folosește energia Soarelui pentru a transforma apa și dioxidul de carbon în zahăr. În acest proces este obținut și eliberat și oxigenul.**

DREAPTA **Heterociclurile sunt un grup important de molecule chimice care se găsesc peste tot în natură, fiind prezente în mii de compuşi din plante şi animale. Ca toate substanţele chimice naturale, ei sunt predominant substanţe bazate pe carbon, dar ciclurile lor includ un alt atom decât carbonul. Adesea sunt ingredientul activ biologic din multe chimicale folosite în gospodărie.**

JOS **Pentru a sintetiza moleculele complexe într-un singur recipient, chimiştii ca Lutz Tietze au dezvoltat ideea cascadelor, în care catalizatorii provoacă o serie de reacţii chimice succesive. Aceste reacţii chimice pot fi considerate piesele unui domino.**

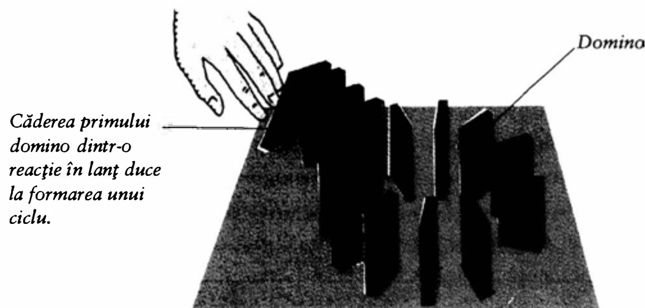
CASCADE

În încercarea de a simplifica procesul, chimiştii au descoperit metode de a parcurge paşii cheie ai unei sinteze într-un singur recipient de reacţie. Metoda foloseşte o cascadă de reacţii, evitând necesitatea de a avea paşi separaţi, însoţiţi de obişnuitele pierderi de materiale. Asemenea cascade au fost studiate de echipa lui Lutz Tietze de la Universitatea Georg-August din Göttingen. Într-o astfel de cascadă, sau reacţie de tip domino, ei pornesc de la doi compuşi simpli ai carbonului şi folosesc o cantitate mică de catalizator pentru a-i face să reacţioneze. Asta duce la un compus intermediar instabil, care apoi trece printr-o reacţie în cascadă din care este obţinut un ciclu.

Este un exemplu de cascadă foarte scurtă, cu numai două dominouri care cad, dar arată caracteristicile vitale necesare pentru a produce mai ieftin moleculele complexe. Totul se petrece într-o singură secvenţă de fluide, începând cu materiale simple şi producând o moleculă complexă. Mai mult, la materiile prime iniţiale se pot adăuga diferite grupe chimice fără a perturba cascada.

Andrew Holmes şi echipa sa de la Universitatea din Cambridge folosesc cascade scurte pentru a crea un grup de molecule numite heterocicluri, care au în ciclu un alt atom decât carbonul. În natură, heterociclurile sunt folosite în mii de compuşi din plante şi animale, şi reprezintă nucleele comune pentru obţinerea multor molecule active biologic, utilizate în industria farmaceutică şi în alte domenii.

REACŢIA ÎN CASCADĂ A LUI LUTZ TIETZE





COMPUŞI COVALENŢI ŞI METALE

Partajarea electronilor în compuşii covalenţi creează legături puternice între atomii din fiecare moleculă – dar înseamnă şi că moleculele au tendinţa de a nu mai fi disponibile faţă de alte molecule. Deci compuşii covalenţi sunt de obicei lichide sau gaze la temperaturi normale, iar punctele lor de topire şi de fierbere sunt scăzute deoarece legăturile dintre moleculele lor pot fi rupte foarte uşor.

Acest lucru contrastează cu legăturile metalice, în care electronii de valenţă se deplasează liber între atomi, ajutând la legarea unui număr uriaş de ioni. Este ceea ce face ca metalele să fie în general atât de solide şi dure şi explică punctele lor de topire şi fierbere ridicate.

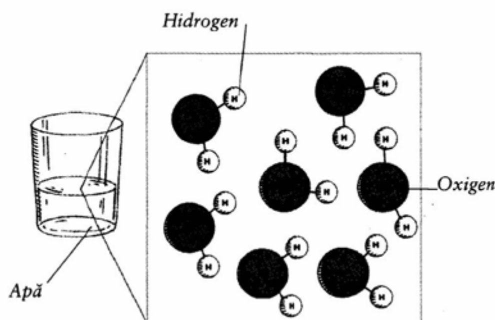
Într-o anumită măsură, acelaşi lucru este valabil despre compuşii ionici cum este sarea gemă, în care ionii pozitivi şi cei negativi formează laolaltă o gigantică latice ionică ce oferă compuşilor ionici punctele ridicate de toprire şi de fierbere caracteristice.



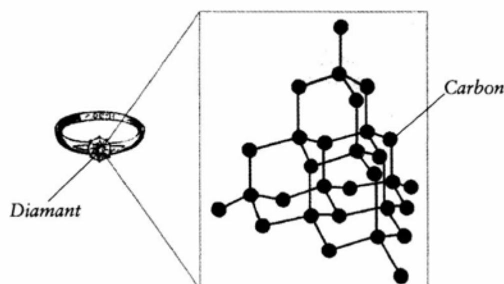
Folosind o anumită metodă, Holmes şi colegii lui încep cu un lanţ simplu sau cu o moleculă liniară care are pe o catenă un atom de azot – acesta va fi heteroatomul din ciclu. La un capăt al moleculei, ei adaugă o legătură dublă reactivă, iar la celălalt capăt adaugă o legătură triplă. Apoi declanşează cascada încălzind amestecul de reacţie. Legătura triplă de la un capăt al moleculei se desface şi se prinde de atomul de azot din braţul lateral, formând o moleculă intermediară de forma unui mic ciclu. Aceasta face să se desfacă şi legătura dublă de la celălalt capăt şi ia atomul de azot pentru a forma un al doilea ciclu. Ajustând compuşii de la care pornesc, Holmes şi echipa lui au obţinut mai mulţi noi compuşi din două, trei sau patru inele heterociclice unite în acest mod.

Cascadele au adăugat avantajul de a obţine adesea numai o formă chirală – de o anumită orientare – a moleculei finale. Chiralitatea a devenit tot mai importantă pentru chimişti, iar specificitatea unei cascade pentru o anumită formă chirală ajută chimistul să evite paşii suplimentari de separare de la sfârşitul reacţiei, îmbunătăţind produşii de reacţie, reducând risipa de materiale şi economisind energie.

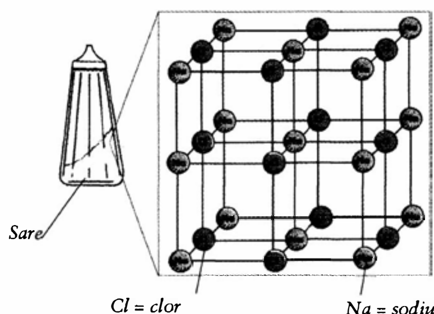
TIPURI DE MOLECULE



SUS **Moleculele de apă conţin legături covalente, ceea ce înseamnă că atomii de hidrogen au în comun electroni cu atomii de oxigen.**



SUS **În diamant, fiecare atom de carbon este legat de patru alţi atomi, formând o reţea dură, numită structură moleculară gigantică. Această structură face ca diamantul să fie cea mai dură substanţă naturală din lume.**



SUS **Compuşii ionici, cum este sarea gemă, sunt uniţi în latice gigantice (la scală moleculară) prin atracţia electrică dintre atomii de sodiu (Na) încărcaţi pozitiv şi atomii de clor (Cl) încărcaţi negativ.**

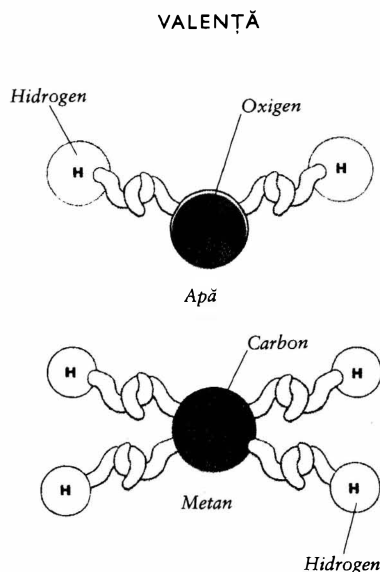
EXPERIMENTE CU LEGĂTURILE CHIMICE

Unii atomi există sub formă izolată perioade îndelungate, dar cei mai mulţi se combină cu alţii, formând molecule. Dar există un model în realizarea acestor uniuni chimice. Fiecare atom se combină numai cu un anumit număr de alţi atomi. Un atom de hidrogen se combină cu un singur atom de clor, niciodată cu doi, în timp ce un atom de oxigen se poate uni cu doi atomi de hidrogen. Un atom de azot se poate uni cu trei atomi de hidrogen, iar un atom de carbon se poate uni cu până la patru alţi atomi. De fapt, fiecare atom are un anumit număr de „cârlige", de care poate atârna alţi atomi, iar acest număr este exprimat prin valenţa atomului.

Deşi unii atomi pot avea diferite valenţe în diferite combinaţii, numărul cârligelor reflectă direct numărul electronilor de pe ultimul strat al atomului, uneori numit strat de valenţă – iar acesta ne dă un indiciu privind modul în care se formează de fapt legăturile atomului. Când substanţele reacţionează, atomii au tendinţa de a capta, a ceda sau de a pune electronii în comun până când ajung la un strat exterior stabil – adică plin. Iar astfel ei dezvoltă o atracţie reciprocă, ce-i face să stea legaţi.

Când se formează legăturile, electronii din stratul de valenţă, numiţi electroni de valenţă, sunt fie cedaţi sau acceptaţi, dacă sunt în legături ionice şi metalice, fie puşi în comun cu alţi atomi, ca în legăturile covalente. Legăturile ionice se formează când atomii care au câţiva electroni în plus în stratul exterior îi cedează atomilor cărora le lipsesc electroni din straturile lor. Atomii care cedează electronii încărcaţi negativ devin ioni pozitivi, iar atomii care îi acceptă devin ioni negativi – deci se manifestă atracţie electrică reciprocă.

Legăturile covalente apar când doi atomi pun în comun perechi de electroni, cum se întâmplă în cazul celor doi atomi de hidrogen şi ai atomului de oxigen din molecula de apă. În legăturile metalice, atomii eliberează electroni în masă, iar electronii încărcaţi negativ circulă liber printre atomi, unind un număr imens de ioni încărcaţi pozitiv într-o latice metalică gigantică.



SUS **În moleculele de apă, „cârligele" simple ale celor doi atomi de hidrogen se prind de cârligul dublu al unui atom de oxigen. În metan, pe de altă parte, cârligele simple ale celor patru atomi de hidrogen se leagă cu cele patru cârlige ale unui atom de carbon.**

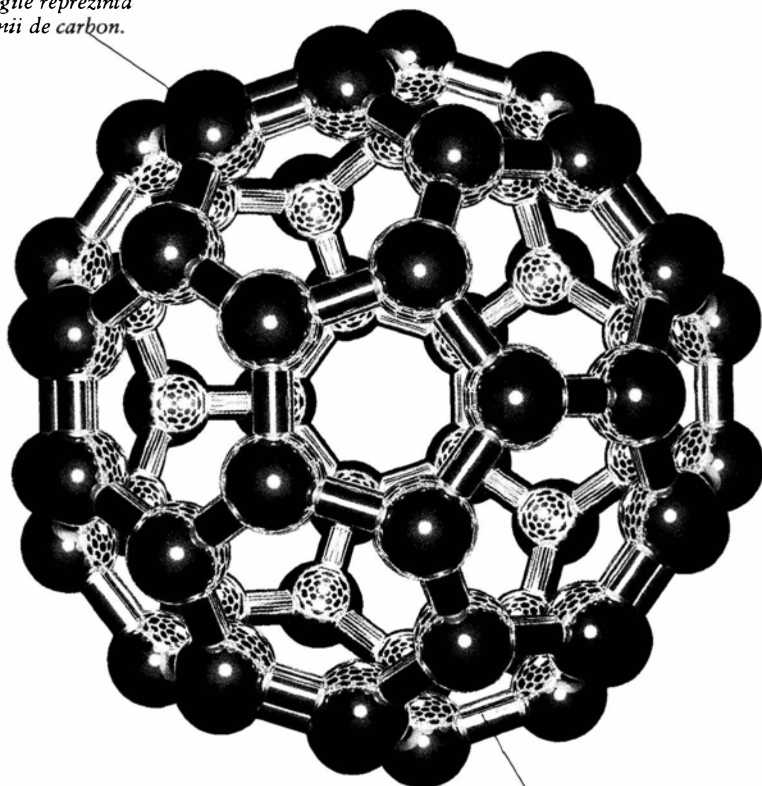
MINGILE DE CARBON

În anul 1996, una dintre zonele complet teoretice ale ştiinţei chimice a fost recompensată cu premiul Nobel pentru chimie, evidenţiind importanţa continuării cercetării ştiinţifice fără a avea neapărat o tehnologie pe care o vizează. Premiul a fost acordat împreună lui sir Harold W. Kroto, profesor la Universitatea din Sussex, Aglia, şi profesorilor Robert F. Curl Jr. şi Richard E. Smalley de la Universitatea Rice din Houston, S.U.A., pentru că au descoperit molecula formată numai din carbon de forma unei mingi, denumită buckminsterfullerenă.

Carbonul fusese considerat până atunci a fi un capitol încheiat. Existau două forme principale ale sale, sau alotropi: diamantul, din care se fac pietre de inel, şi grafitul din care se face mina de creion. Mai existau şi câteva forme neregulate, necristaline, denumite carbon amorf. Dar în anul 1985 Kroto, Curl şi Smalley au descoperit că era posibilă existenţa carbonului într-o formă alotropică total nouă, alcătuită din mici sfere de carbon, iar aceste sfere reprezentau o formă moleculară absolut nouă.

Echipa a folosit o tehnică analitică denumită spectrometrie de masă pentru a examina anumite mostre pe care le obţinuse, iar rezultatele analizei au indicat prezenţa unor clustere (ciorchini) de molecule grele, cu un grad mare de simetrie. După multe ore de căutări, echipa a înţeles în cele din urmă că simetria ridicată putea fi explicată numai dacă molecula principală era o sferă formată din 60 de atomi de carbon (C_{60}). S-a dovedit că forma aparţinea unui solid matematic denumit icosaedru trunchiat – un corp cu 20 de feţe hexagonale şi 12 feţe pentagonale. Acesta este exact modul de construire al unei mingi moderne de fotbal. Ei au denumit molecula buckminsterfullerenă, după numele arhitectului şi futuristului Richard Buckminster Fuller, care a folosit structura în clădirile sale, dar analogia cu mingea de fotbal s-a dovedit irezistibilă, iar moleculele sunt cunoscute în general sub numele de buckyball (ball = minge, n. trad.). Buckyball-urile sunt una dintre cele mai interesante descoperiri din istoria recentă a chimiei. Deşi li s-au găsit încă puţine utilizări, cei mai mulţi chimişti sunt convinşi că ele vor fi cărămizile din care vor fi construite multe substanţe chimice importante ale viitorului.

Mingile reprezintă atomii de carbon.



Barele reprezintă legăturile dintre atomii de carbon.

SUS **Buckyball-ul este o moleculă remarcabilă, construită artificial, cu 60 de atomi de carbon – puşi laolaltă sub forma unei mingi de fotbal. Numele provine de la arhitectul Buckminster Fuller, care a construit domuri geodezice în anii 1950.**

ENERGIA LEGĂTURII

Aproape toate reacţiile chimice presupun o schimbare de energie, în timp ce se formează noi legături şi se desfac cele vechi. Pentru desfacerea unei legături este necesară energie, iar crearea unei legături eliberează energie. Cu cât legătura este mai puternică, energia legăturii este mai mare – adică, pentru ruperea legăturilor mai puternice este necesară mai multă energie. Unele reacţii implică energie electrică, altele necesită lumină, dar cele mai multe au nevoie de căldură.

O reacţie în care este eliberată căldură este numită reacţie exotermă. De exemplu, când arde lemnul, este eliberată mai multă energie prin crearea noilor legături decât este absorbită pentru ruperea legăturilor, deci din reacţie se degajă căldură. Explozia este forma cea mai intensă de reacţie exotermă. O reacţie în care este absorbită căldură din mediul înconjurător este numită reacţie endotermă. Aşa funcţionează compresele reci folosite de sportivi pentru a răcori rănile. În interiorul compresei se dizolvă în apă azotat de amoniu, proces care presupune ruperea unor legături. Pentru ruperea legăturilor este absorbită energie sub formă de căldură, ceea ce răceşte apa.

FULLERENELE

Mulţi chimişti nu erau convinşi de validitatea rezultatelor iniţiale şi aveau să mai treacă alţi cinci ani înainte ca savanţii să obţină noua formă de carbon în laborator. În mod ironic, au fost doi fizicieni, Donald Huffman şi Wolfgang Krätschmer, cei care au găsit o metodă de a obţine buckyball-uri în cantităţi destul de mari ca savanţii să le poată arunca în arena experimentală. Ei au condensat vapori de carbon într-o atmosferă de gaz inert. Atomii excitaţi de carbon s-au combinat şi s-au curbat în grupuri de câteva sute de atomi, iar unele dintre aceste grupuri erau buckyball-uri.

Chimiştii reuşiseră acum să desfăşoare multe dintre reacţiile de obţinere a buckminsterfullerenei şi a vărului ei în formă de minge de rugby, fullerena C_{70}. Ei au ataşat fullerenelor aproape orice grupă chimică cunoscută şi au descoperit şi modurile de captare a metalelor şi a altor elemente în interiorul sferelor de carbon în timp ce se formau. Efectele asupra proprietăţilor electrice ale materialelor sunt uimitoare, făcându-le superconductive la numai 77° Kelvin (doar cu 196° K sub temperatura de îngheţ a apei). Apoi chiar au captat fullerenele în spaţiile goale ale materialelor poroase, ca mineralele naturale de zeolit, iar aceste compozite pot fi făcute să strălucească în lumină slabă.

A început să se dezvolte şi biologia fullerenelor, iar cercetătorii au creat mai multe versiuni ale buckyball-urilor care au activitate biologică. De exemplu, studiile de laborator sugerează că un derivat poate bloca activitatea anumitor enzime ale virusului HIV, care provoacă SIDA.

Numeroase grupuri de cercetători caută metode de a construi de la zero mingile alcătuite numai din carbon folosind tehnici de sinteză organică tradiţionale. Astfel, ar putea să adauge grupe chimice cu funcţii utile pe măsură ce construiesc mingile, în loc de a le adăuga ulterior. Ei speră că astfel vor avea mai mult control asupra produsului final şi că vor putea introduce noi elemente structurii sferice. Mingile pot fi şi „umflate" – pot fi plasaţi în interiorul lor atomii unui alt element.

DREAPTA **Sistemele de realitate virtuală permit chimiştilor să aleagă molecule, să le rotească, să adauge sau să îndepărteze grupe şi să vadă cum pot reacţiona – totul pe computer. Aici, molecula mare mov de forma unei panglici este modelul unei enzime HIV, în timp ce cea albastră este ADN-ul.**

Chimia virtuală

Chimiştii au trudit timp de decenii deasupra eprubetelor şi retortelor căutând metode de a amesteca şi a potrivi atomii în noi molecule. Dar truda lor s-ar putea sfârşi în curând, deoarece chimiştii care iubesc mai puţin retortele au creat programe de computer care pot învăţa cum pot să proiecteze reacţiile şi în final să programeze un braţ de robot să agite recipienţii de reacţie în locul lor.



Chimiştii explorează puterea computerului de a lucra în ciberspaţiul abstract. În loc de a pune substanţele chimice laolaltă în eprubete, ele sunt puse la un loc într-o lume virtuală, în care timpul poate fi oprit sau dat înapoi în timp ce modelele computerizate ale moleculelor reacţionează între ele. Chimia computaţională, după cum se ştie, este un domeniu nou şi interesant.

Johann Gasteiger de la Institutul pentru Chimie Organică al Universităţii din Erlangen-Nürnberg din Germania este unul dintre savanţii care au considerat că chimiştii muncesc prea mult. El şi colegii săi şi-au petrecut 15 ani proiectând un program de computer care, speră ei, examinează o moleculă şi determină exact modul în care va reacţiona fără a folosi măcar o eprubetă.

Acest software foloseşte informaţiile din mai multe baze de date care conţin sute de mii de reacţii chimice – fiecare cu condiţiile specifice, catalizatorii şi reactivii listaţi împreună cu parametrii fizici ai moleculelor implicate.

Un chimist poate căuta manual în baza de date sau poate folosi un program de căutare pentru a alege reacţiile care îl interesează, însă o singură căutare poate duce la o listă de mai multe sute de reacţii dintr-o bază de date care poate conţine milioane de reacţii. Analiza manuală este şi laborioasă şi de durată.

Gasteiger a considerat că poate învăţa un program de computer numit reţea neurală Kohonen să facă sortarea în locul lui. Gasteiger a tras concluzia că dacă toate proprietăţile fizice şi chimice ale reacţiilor ar putea fi introduse în program dintr-o bază de date, ar putea fi creată o hartă completă a reacţiilor chimice, analoagă reţelei de intrări senzoriale din creierul uman. În locul intrărilor senzoriale, echipa lui Gasteiger a introdus toţi factorii care afectează o reacţie chimică, precum temperatura şi presiunea.

Echipa lui Gasteiger a ales o singură clasă largă de reacţii chimice pentru a-şi testa ideile şi a folosit programul de căutare pentru a căuta un tip general de reacţie. Ei au obţinut un set de 120 de reacţii dintr-o bază de date cu 370000 de intrări. Pentru a simplifica şi mai mult lucrurile, ei au ales şapte proprietăţi fizice caracteristice asociate cu centrul de reacţie al fiecărei molecule ca intrare pentru reţeaua neurală.

Reacţii chimice

Când este introdusă o reacţie, variabilele sunt mapate pe o grilă 12 x 12 de neuroni artificiali din software. Reacţiile sunt introduse secvenţial, iar după fiecare intrare poderile neuronilor sunt ajustate pentru a-i face să semene cu variabilele de intrare. Cu cât un neuron este atins mai aproape, cu atât este ajustarea mai mare. Acest lucru „antrenează“ reţeaua. Dacă următoarea reacţie introdusă are variabile similare, este mapată pe un neuron apropiat de primul, dar dacă valoarea este diferită, este plasată pe un neuron mai îndepărtat iar ponderile trebuie ajustate din nou.

Procesul a creat un „peisaj“ bidimensional al reacţiilor, în care reacţiile similare sunt grupate împreună, în timp ce reacţiile diferite se află departe una de alta. Capetele izolate din peisaj indică reacţii chimice neobişnuite şi rare.

BOSS şi SYNGEN

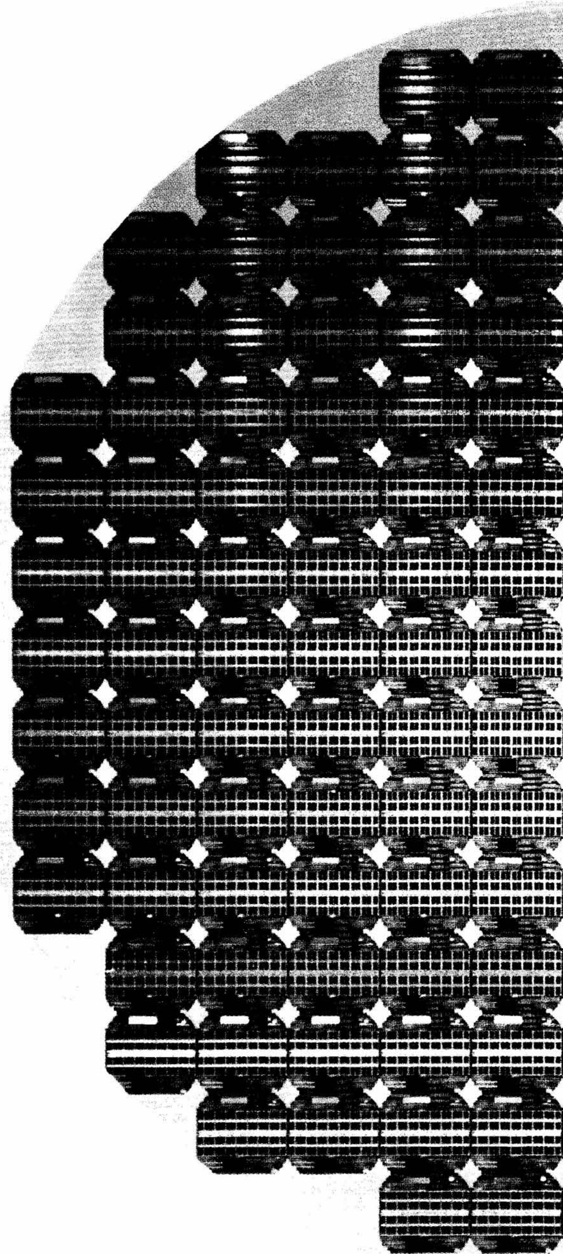
Cel mai interesant aspect este modul în care pot fi prezise proprietăţile noilor compuşi. Când sunt introduse în reţeaua neurală cele şapte variabile pentru o nouă moleculă, aceasta le procesează şi atribuie noii molecule o anumită regiune. Aceasta permite chimistului să vadă – în jumătate de secundă – reacţiile posibile prin care molecula ar trece în laborator.

William Jorgensen de la Universitatea Yale din New Haven, Connecticut, lucrează la alt program, numit BOSS (Biochemical and Organic Simulations System – Sistem de simulări biochimice şi organice). Chimistul introduce materiile prime în computer şi adaugă condiţiile de reacţie folosind meniuri derulante. Apoi programul înearcă să anticipeze ce se va întâmpla, folosind un set de reguli bazate pe decenii de observaţii de laborator pentru a pune cap la cap paşii fundamentali de creare a reacţiilor cunoscute sau poate necunoscute încă. De exemplu, regulile lui Baldwin, inventate de către un chimist pe nume Baldwin de la Universitatea Oxford, preziceau dacă o catenă de carbon cu un atom de oxigen sau de azot în capăt se va curba sau nu pentru a forma un ciclu. Regulile lui Cram – formulate de chimistul american Donald Cram – pot prezice în ce mod un reactiv va ataca o legătură dublă carbon-oxigen.

Există multe trasee pe care le poate urma o moleculă. James Hendrickson de la Universitatea Brandeis a imaginat alt program, numit SYNGEN – pentru generatorul de sinteză – care caută calea cea mai scurtă demontând reacţia-ţintă pe ecranul computerului. La fiecare disecţie scheletală, arată chimistului ce grupe funcţionale ar fi necesare pentru a iniţia o secvenţă de reacţii de reconstruire a scheletului şi a obţine produsul.

Folosite împreună, programele de computer permit chimiştilor nu numai să clasifice tipurile de reacţii şi să prezică modul în care poate reacţiona o anumită moleculă, ci şi să determine ce tip de reacţie poate fi necesar pentru a produce o moleculă nou-creată. Reţeaua neurală clasifică reacţia, BOSS poate afla ce reacţii ar merge, iar SYNGEN optimizează ruta şi determină costurile de producţie ale substanţei.

JOS **Microcipul computerului este eprubeta viitorului – locul în care chimiştii încearcă reacţiile chimice.**



Un computer chimic

Chimiştii nu se mulţumesc cu simplitatea. În ciuda progreselor din proiectarea moleculară asistată de computer, mulţi chimişti se îndepărtează acum de moleculele singulare şi trec la domeniul arhitecturii moleculare. Aceasta înseamnă unirea moleculelor individuale pentru a construi maşini moleculare sub-microscopice sau „supermolecule": cărămizile computerelor bazate pe substanţe chimice.

Ideea construirii unui computer din componente la scală moleculară, în locul bucăţilor relativ mari de materiale semiconductoare precum siliconul, necesită multă muncă din partea chimiştilor. Ea le oferă oportunitatea de a crea nişte structuri chimice frumoase, de a rezolva probleme de sinteză extrem de complexe şi duce la un viitor al super-computerelor de dimensiunea unei cărţi.

Un proiectant de electronice are tendinţa de a lucra de sus în jos pentru a face dispozitive tot mai mici. Această abordare ne-a dat cipul de siliciu: o secţiune de grosimea unui biscuit, din material semiconductor cristalin, cu componente microscopice – tranzistoare, diode şi capacitoare – gravate pe suprafaţă folosind tehnici de imprimare şi substanţe chimice corozive.

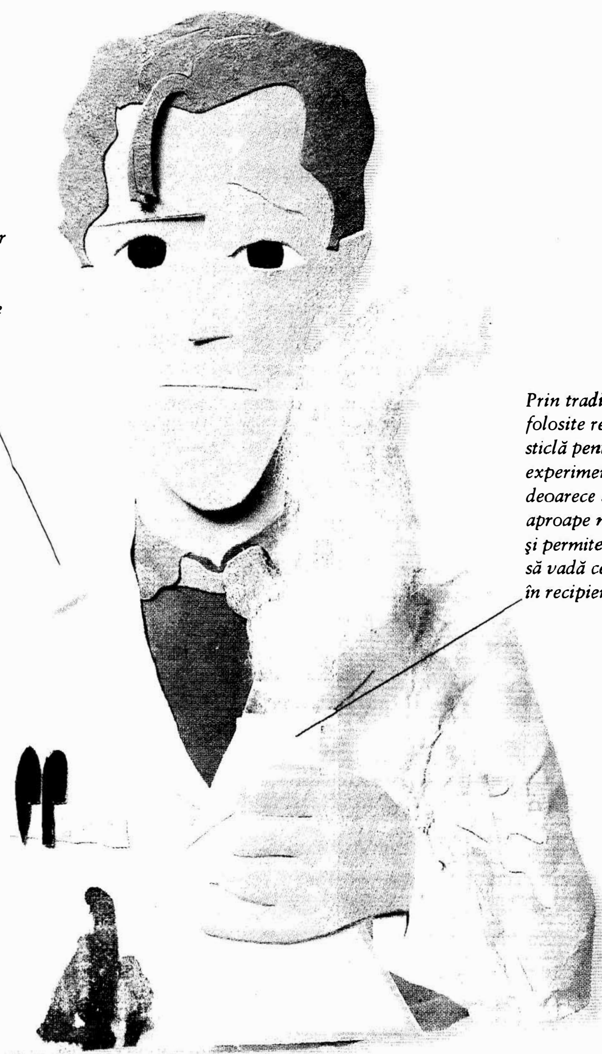
Pe de altă parte, chimistul are instrumentele şi tehnicile necesare pentru a lucra de jos în sus, proiectând mai întâi dispozitivul şi apoi asamblându-i părţile componente. Instrumentele şi tehnicile pe care le poate folosi un chimist sunt baza dezvoltării rapide a ramurii chimiei de sinteză denumite chimie supramoleculară – un domeniu care ar putea introduce masiv chimia în industria electronicelor.

Chimia supramoleculară

Jean-Marie Lehn de la Universitatea din Strasbourg, Franţa, a împărţit premiul Nobel pentru chimie din anul 1987 cu americanii Donald Cram şi Charles Pedersen pentru munca lor de pionierat în proiectarea complecşilor moleculari. Lehn defineşte chimia supramoleculară ca fiind „chimia de dincolo de moleculă ... chimia proiectării legăturilor intermoleculare". Ceea ce vrea să spună este că, în timp ce reacţiile chimice normale, de zi cu zi, presupun desfacerea şi crearea legăturilor dintre atomi, chimia supramoleculară se bazează pe crearea şi ruperea legăturilor dintre molecule întregi.

Aceste aşa-numite legături noncovalente – spre deosebire de legăturile covalente obişnuite din compuşii organici – se află în centrul multora dintre reacţiile de tip computaţional desfăşurate de miloane de ori în organismele vii. Prin planificare şi proiectare, structurile elaborate pe care le face posibile chimia supramoleculară ar putea oferi cheia către construirea dispozitivelor la scală nanometrică (la nivelul miliardimilor de metru) şi ar putea duce până la urmă la crearea unei maşini computaţionale bazate pe chimie în loc de electronică.

Există două principii majore implicate în chimia supramoleculară. Ambele se inspiră foarte mult din natură, dar lucrează per ansamblu cu sistemele sintetice.



Halatul alb de laborator va deveni în curând o caracteristică a trecutului, pe măsură ce chimiştii vor sta în hainele lor de zi cu zi, lucrând la computere.

Prin tradiţie, au [redacted] folosite recipien[redacted] sticlă pentru a [redacted] experimente ch[redacted] deoarece sticla [redacted] aproape ne-reac[redacted] şi permite chimi[redacted] să vadă ce se [redacted] în recipient.

SUS Mai este încă loc pentru chimia tradiţională de laborator şi mulţi chimişti încă preferă să studieze direct reacţiile şi substanţele reale.

RECUNOAȘTERE ȘI AUTOASAMBLARE

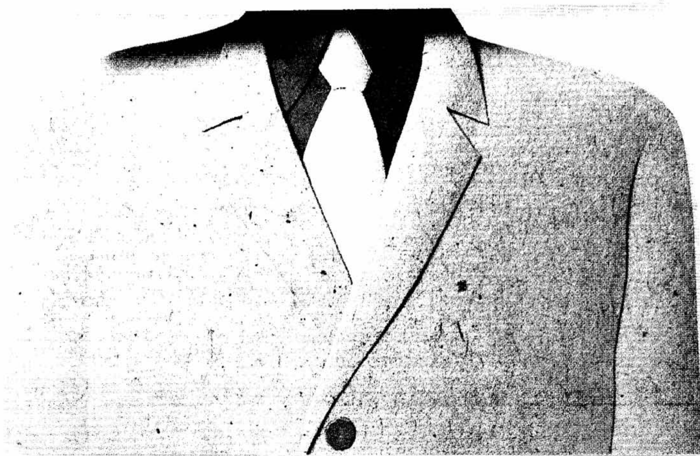
Primul dintre aceste principii este proprietatea unor compuşi de a trece prin recunoaştere moleculară. Acest proces este analog multor evenimente biochimice, precum situaţia în care o moleculă se leagă de un receptor sau intră în locul activ al unei enzime ca o cheie în broască. Chimiştii supramoleculari construiesc cicluri şi colivii, de exemplu, care pot recunoaşte şi capta în cavităţile lor moleculele sau ionii mai mici, la fel cum o moleculă de parfum intră în receptorul pentru miros. În anii 1960 şi 1970, Charles Pedersen a proiectat un grup de compuşi denumiţi eteri coroană, care au fost printre primele sisteme chimice despre care se ştia că recunosc alte specii chimice şi se leagă selectiv de ele. Unul dintre cei mai mici eteri coroană, de exemplu, recunoaşte şi captează ionii metalului alcalin litiu, preferându-l altor metale alcaline din soluţie.

JOS **Chimia modernă înseamnă acum de obicei asamblarea atomilor şi a moleculelor simple pentru a crea noi molecule în lumea virtuală a computerului. Până la urmă, chiar şi computerele ar putea fi create prin asamblarea moleculelor proiectate pe computer.**



Pe computer, noile molecule pot fi triate şi testate în siguranţă, într-o clipă.

Programele sofisticate de computer permit chimistului să întoarcă molecula şi să o vadă din toate unghiurile.



ALFRED NOBEL



Alfred Nobel a rămas în memoria oamenilor mai ales pentru fondarea premiilor care îi poartă numele. Premiile au fost înfiinţate pentru a-i onora pe cei care au ajutat umanitatea, dar, în mod ironic, banii pentru ele provin din fabricarea explozibililor şi a armamentului. De fapt, preocuparea lui Nobel faţă de explozibili l-a dus la o tragedie personală în anul 1864, când fabrica sa a început să producă nitroglicerină, iar fratele lui, Emil, a fost ucis într-o explozie. În loc de a abandona explozibilii, Nobel a inventat o substanţă mai sigură, dinamita. Zece ani mai târziu, în anul 1875, a inventat fulmicotonul, unul dintre explozibilii cei mai larg folosiţi încă şi azi. Nobel a sperat că substanţele distructive pe care le producea vor pune capăt războiului, în acelaşi mod în care, un secol mai târziu, oamenii aveau să fie seduşi de armele nucleare. Faptul că a fondat premiile Nobel a fost o încercare de a-şi îndrepta greşeala.

Al doilea principiu al chimiei supramoleculare este denumit principiul autoasamblării. Din nou, această idee are un analog natural în asamblarea părţilor unui virus care atacă plantele de tutun. Virusul este un mic cilindru proteic având în interior ARN-ul genetic. Cilindrul este alcătuit din 2130 subunităţi proteice identice în formă de pană, care sunt puse una peste alta în spirală ca şi cărămizile unui turn. Dacă virusul şi lungul său şir de ARN (care are 6400 componente de bază) sunt rupte chimic în părţi individuale şi apoi părţile sunt puse înapoi într-o soluţie, ele se recunosc reciproc şi se autoasamblează în laborator. Rezultatul este din nou, în mod uimitor, mozaicul infecţios complet al virusului.

Autoasamblarea este strâns legată de ideea recunoaşterii moleculare: recunoaşterea reciprocă a subunităţilor ghidează construcţia supermoleculei. Eterul coroană numit 12-coroană-4 (un macrociclu cu 12 membri şi 4 atomi de oxigen egal distanţaţi)

este un bun exemplu. Nu numai că recunoaşte selectiv ionii de litiu, însă numai amestecarea părţilor componente ale ciclului într-o soluţie care conţine ioni de litiu duce la autoasamblarea spontană a ciclului în jurul ionului metalic – care se comportă ca un fel de şablon pentru structură.

Când chimiştii au început să aplice aceste două principii – recunoaşterea şi autoasamblarea – pentru proiectarea unor structuri chimice mai complexe, au observat că realizau de fapt planurile pentru dispozitivele care puteau forma baza computerelor moleculare.

Lista de cumpărături pentru un computer molecular

În această etapă a dezvoltării ipoteticului nostru computer molecular, nimeni nu ştie prea bine ce dispozitive şi componente vor fi necesare. S-ar putea ca toată tehnologia electronică din ultima jumătate a secolului XX să devină irelevantă datorită unei noi abordări. Conform părerii pionierului în nanotehnologie K. Eric Drexler, probabil că încercarea de a copia microelectronica la scală nanometrică nu este cea mai bună abordare a problemei. El a sugerat că maşina diferenţială a matematicianului victorian Charles Babbage ar putea fi un prototip mai probabil al unui computer molecular, în care legăturile şi declanşatorii moleculari efectuează calculele la o scală de miliarde de ori mai mică decât şi-ar fi închipuit vreodată Babbage.

Indiferent de ceea ce face Drexler, savanţii muncesc din greu pentru a crea versiuni moleculare ale dispozitivelor electronice familiare. Sunt acum cercetate intens metodele de a face ansamblurile de câţiva atomi să se comporte ca nişte diode, tranzistori, comutatoare, cabluri şi chiar ca nişte cleme crocodil. Potenţialul reducerii este enorm. Microprocesorul puternic aflat într-un computer de birou obişnuit conţine mai multe milioane de dispozitive microelectronice pe fiecare cip de sliciu. Aceste dispozitive sunt porţi logice şi tranzistori care efectuează în fiecare secundă un număr inimaginabil de calcule. Moleculele sunt cel puţin de o mie de ori mai mici decât cele mai mici componente lipite pe siliciu, deci câteva milioane de milioane ar putea încăpea pe un cip molecular. Acesta este echivalentul potenţial al unui milion de computere de birou într-o singură maşină.

Proiectanţi tot mai mici

Există sute de grupuri de cercetare care pun bazele dispozitivelor moleculare ce ar putea într-o zi să formeze baza acestui megaprocesor imaginar. Un astfel de grup este şi cel condus de către J. Fraser Stoddart. El şi colegii lui au o meritată reputaţie de experţi în proiectarea moleculelor capabile de recunoaştere şi autoasamblare şi au făcut progrese uimitoare către dispozitivele moleculare care s-ar putea comporta precum comutatoarele într-un computer integral molecular.

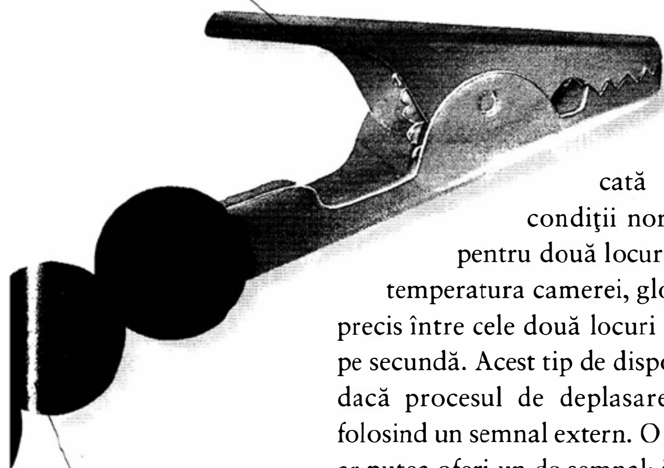
Echipa lui Stoddart a propus câteva variante pe o temă similară: unirile moleculare, care, speră ei, le vor permite să înţeleagă mecanica recunoaşterii şi a autoasamblării şi să realizeze comutatoare moleculare. Ei au pus la punct arta înlănţuirii moleculelor ciclice, fie pe un lanţ molecular închis fie pe alt ciclu. Ambele componente ale acestor supermolecule, denumite respectiv rotaxani şi catenani, au capacităţi de recunoaştere. Ele joacă



K. ERIC DREXLER

Până acum, încercările de a proiecta un computer molecular s-au bazat pur şi simplu pe imitarea computerelor convenţionale pe o scară infimă. Drexler sugerează că ar fi mai utilă o abordare complet diferită.

…cput căutarea …elor crocodil …culare pentru a lega …tatoarele moleculare.



În computerele moleculare, comutatoarele care vor face toate calculele sunt moleculele individuale.

STÂNGA **Problema privind proiectarea unui computer molecular este cablarea tuturor dispozitivelor de comutare. Cercetările curente se axează pe clemele crocodil care să realizeze conexiunile.**

un rol crucial în autoasamblarea sistemului, oferind structură şi capacitate de stocare a informaţiilor care le-ar putea permite să se comporte ca un comutator binar.

Dispozitivul-prototip are o globulă macrociclică încărcată pozitiv, având în condiţii normale afinitate egală pentru două locuri de recunoaştere. La temperatura camerei, globula circulă rapid şi precis între cele două locuri de câteva sute de ori pe secundă. Acest tip de dispozitiv va fi util numai dacă procesul de deplasare poate fi controlat folosind un semnal extern. O sursă de lumină laser ar putea oferi un de semnal; ieşind dintr-o parte a cipului molecular, el ar putea fi folosit pentru a declanşa naveta globulei moleculare de la un loc de recunoaştere la altul. O asemenea schimbare a stării ar putea reprezenta o unitate binară.

DESCHIDEREA PORŢILOR CHIMICE

O echipă condusă de către Prasanna de Silva de la Universitatea Queen din Belfast lucrează mai direct la dezvoltarea moleculelor care pot efectua operaţiile logice care stau la baza calculelor – porţile logice. În cadrul unui program de cercetare pilot, de Silva şi echipa lui au descoperit că anumite molecule receptoare pot chiar efectua reacţii asemănătoare unor calcule simple, cuplând două procese chimice – făcând legătura între metale încărcate electric, ioni şi procese de recunoaştere moleculară.

Într-un exemplu de asemenea dispozitiv, cercetătorii au folosit un eter coroană ataşat la o moleculă organică numită antracen. Molecula are două canale de intrare în funcţie de care uneşte ioni de sodiu sau de hidrogen, sau ambele variante, în soluţie. Dacă sunt prezenţi şi ionii de sodiu şi cei de hidrogen peste o concentraţie-prag, molecula străluceşte – un semnal care poate fi detectat uşor.

După ce variatele grupuri de cercetare vor găsi metodele de realizare a porţilor logice moleculare, pasul următor este de a le asambla pe toate în mod ordonat. Asta ar putea crea vectori de dispozitive pe cipuri moleculare, care apoi ar putea fi cablate la un dispozitiv de intrare, cum ar fi un mouse, o tastatură sau un pen pad, sau la un dispozitiv de ieşire, cum ar fi un ecran obişnuit de computer.

Echipa lui Jean-Marie Lehn din Strasbourg este doar unul dintre grupurile care lucrează la cablurile moleculare ce ar putea interconecta comutatoarele ca globulele-navetă ale echipei lui Stoddart. Ei au pregătit un cablu molecular folosind o moleculă cu un lanţ lung de caroviologen, apoi au studiat uşurinţa cu care curg electronii între capetele sale.

Conform măsurătorilor pe care le-au efectuat, este posibilă conducerea electronilor în acest sistem la scară supramoleculară. Unirea cablurilor în dispozitive moleculare rămâne totuşi o provocare, iar cercetările pentru realizarea clemelor crocodil moleculare sunt şi ele în desfăşurare.

VIZIUNE FLEXIBILĂ

Savanţii de la Universitatea din Cambridge şi de la Uniax Corporation din California, precum şi numeroase grupuri de cercetare din Japonia, Suedia şi din alte ţări, lucrează la crearea unor materiale care vor forma o nouă generaţie de ecrane de computer. Ei folosesc o combinaţie de chimie inovativă a polimerilor şi de fizică ingenioasă pentru a construi diferite tipuri de diode emiţătoare de lumină (LED-uri), care ar putea fi folosite în afişaje plate. Munca lor va face ca afişajele să fie mai mari şi mai flexibile. Afişajele cu LED-uri deja consumă mult mai puţină energie decât tuburile catodice folosite în ecranele de modă veche. La o scară mai mică, asemenea dispozitive ar putea deveni surse de semnale care citesc şi scriu în zonele de memorie moleculară. Un astfel de grup de cercetare este condus de fizicianul Richard Friend de la Cavendish Laboratory din Cambridge, Anglia. Lucrândîndeaproape cu chimiştii de la universitate, ei au produs derivaţi ai polimerilor electroluminiscenţi care pot fi intercalaţi între un strat transparent şi contactele electrice pentru a realiza LED-uri.

Nanocircuitele

În electronica convenţională, se pare că tehnologia siliciului nu poate merge mai departe. Tehnicile de imprimare a circuitelor de microprocesoare se bazează pe lungimea de undă a sursei de lumină folosite, deci razele X reprezintă limita de dimensiune pentru caracteristicile individuale. Se fac încercări de a depăşi această barieră, folosind şirurile autoasamblante de ADN pe siliciu ca mască pentru imprimarea chimică, în locul fotolitografiei.

Cercetătorul Robert Birge de la Universitatea Syracuse a găsit un mod de a folosi mici cuburi moleculare ale proteinei microbiene denumite bacteriorodopsină ca dispozitiv de memorie. Informaţiile pot fi scrise pe proteină şi citite de pe ea folosind lumina laser. Teoretic, asemenea dispozitive ar putea stoca de 300 de ori mai multe date decât cipurile de memorie moderne. Grupurile de „puncte cuantice“, conţinând fiecare un număr mic, ajustabil, de electroni, şi-ar putea găsi şi ele un rol în această căutare.

Electronica moleculară este încă la început, dar deceniile ce vor veni ar putea aduce o revoluţie a computerelor care va transforma Silicon Valley.

Chimia viitorului

Un chimist este un arhitect pe cea mai mică scală posibilă: scala moleculară. O asemenea arhitectură moleculară este un proces înrobitor. Un chimist poate descoperi compuşi medicinali activi în orhideele rare din Africa de Sud, îi poate extrage, izola şi, prin examinare analitică încrucişată, îi poate identifica şi le poate determina proprietăţile. Apoi el poate folosi toate aceste informaţii pentru a face o copie exactă în laborator a moleculei respective, nu numai de dragul conservării, dar şi pentru ca să poată fi produse şi testate versiuni noi ale moleculei, mai eficiente şi mai sigure. Înarmaţi cu instrumentele chimiei computaţionale, chimiştii pot evalua proprietăţile medicinale ale compusului şi pot evita sarcina laborioasă şi adesea zadarnică de a testa substanţele prin încercare şi eroare.

De asemenea, chimiştii creează noi maşini moleculare, imitând enzimele şi receptorii de dimensiuni nanometrice ale naturii. Nanotuburile – conducte minuscule construite din fullerene – ar putea deveni conductele pentru combustibil ale viitorului sau cablurile acestor maşini minuscule. Nanotuburile sunt atât de subţiri încât unul destul de lung pentru a ajunge la Lună ar putea fi înfăşurat într-o minge de dimensiunea unei seminţe de mac.

Într-o zi, chimistul va putea să construiască nanoboţi, maşini minuscule, invizibile care pot executa aproape orice sarcină în orice locaţie. Un astfel de exemplu este un minuscul senzor biometric care patrulează prin organism, verificând nivelul colesterolului din sânge. Dacă detectează o problemă, nanobotul ar putea anunţa un medic sau ar putea chema salvarea. Potenţialul imens al unor asemenea soluţii pentru rezolvarea problemelor noastre medicale, industriale şi de mediu este pur şi simplu ameţitor.

JOS **Puterea computerului le-a permis chimiştilor să lucreze la nivel molecular, construind noi substanţe şi structuri de jos în sus, făcând din chimie ştiinţa cu cele mai mari şanse de a ne revoluţiona vieţile. Chiar şi computerele ar putea ajunge să fie construite de chimişti.**



PRIVIRE RAPIDĂ ASUPRA CHIMIEI



CHIMIA TRADIȚIONALĂ

1661

Robert Boyle scrie *The Skeptical Chymist (Chimistul Sceptic)*, în care introduce noțiunile de elemente și compuși chimici, punând bazele chimiei moderne.



CELE PATRU ELEMENTE

1756

Joseph Black recunoaște importanța înregistrării schimbărilor de masă și rolul gazelor în reacțiile chimice. El deduce și prezența dioxidului de carbon în atmosferă.

1774

Joseph Priestley descoperă o gamă largă de gaze noi, printre care dioxidul de azot, amoniacul, azotul, monoxidul de carbon, dioxidul de sulf și oxigenul.

1800

Humphry Davy descoperă oxidul azotos – gazul ilariant – și sugerează folosirea sa ca antestezic.

1808

John Dalton propune teoria atomică, sugerând că toate elementele sunt alcătuite din particule minuscule numite atomi, care nu mai pot fi nici divizate, nici distruse. Conform teoriei sale, toți atomii unui element chimic sunt identici.



JOHN DALTON

1810

Descoperirea fluidului supercritic – o stare între lichid și gaz.

1811

Amedeo Avogadro formulează legea care-i poartă numele, oferind o bază pentru a determina formulele chimice ale gazelor.



REACȚII CHIMICE

1828

Friedrich Wöhler arată că substanțele organice nu sunt caracteristice numai ființelor vii, sintetizând uree și deschizând calea dezvoltării chimiei organice.

1850

Louis Pasteur descoperă chiralitatea – proprietatea de simetrie a moleculelor.

1868

Dmitri Mendeléev creează Tabelul Periodic al elementelor chimice, în care (inițial) elementele sunt plasate în ordinea crescătoare a maselor lor atomice relative și sunt aranjate în grupuri verticale care au caracteristici chimice similare.

1874

Jacobus Van't Hoff deschide drumul stereochimiei, continuând descoperirea chiralității făcută de Pasteur.



EMIL FISCHER

1899

Emil Fischer determină structura zahărului și sintetizează glucoză și fructoză – un progres fundamental în chimia organică.

ATOMUL

1905

Paul Ehrlich dezvoltă ideea glonțului magic – o substanță chimică ce poate găsi și distruge un agent patogen.

COMPUTERE MOLECULARE

1962

Elias Corey dezvoltă ideea analizei retrosintetice pentru construirea moleculelor organice mari și complexe din molecule mai mici.

1966

Charles Pedersen proiectează eterii coroană – primii compuși chimici care pot recunoaște alți compuși.

Anii 1980

Jean-Marie Lehn, Donald Cram și Charles Pedersen deschid calea proiectării complecșilor moleculari.

1985

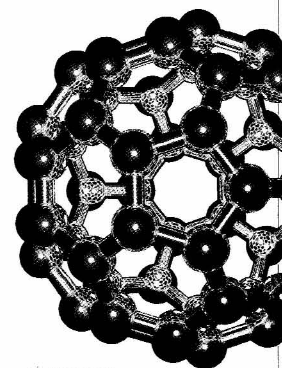
Robert Curl, sir Harold Kroto și Richard Smalley descoperă buckyball-urile.

1991

Sumio Iijima din Japonia construiește primul nanotub.

1994

Grupurile de cercetare conduse de Kyriacos Nicolau și Robert Holton reușesc să sintetizeze compusul natural de tratare a cancerului numit taxol.



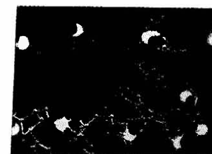
BUCKYBALL

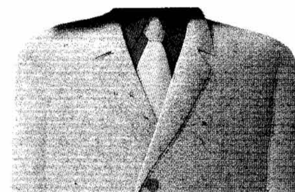
1995

John Heckels și Myron Christodoulides dezvoltă peptide experimentale care oferă protecție împotriva hepatitei B.

2004

Roentgeniu, al 111-lea element chimic este denumit oficial în onoarea lui Wilhelm Roentgen, descoperitorul german al razelor X.





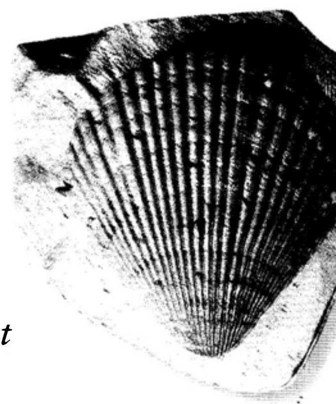
CHIMIA VIRTUALĂ



Pământul dinamic

ŞTIINŢELE PĂMÂNTULUI



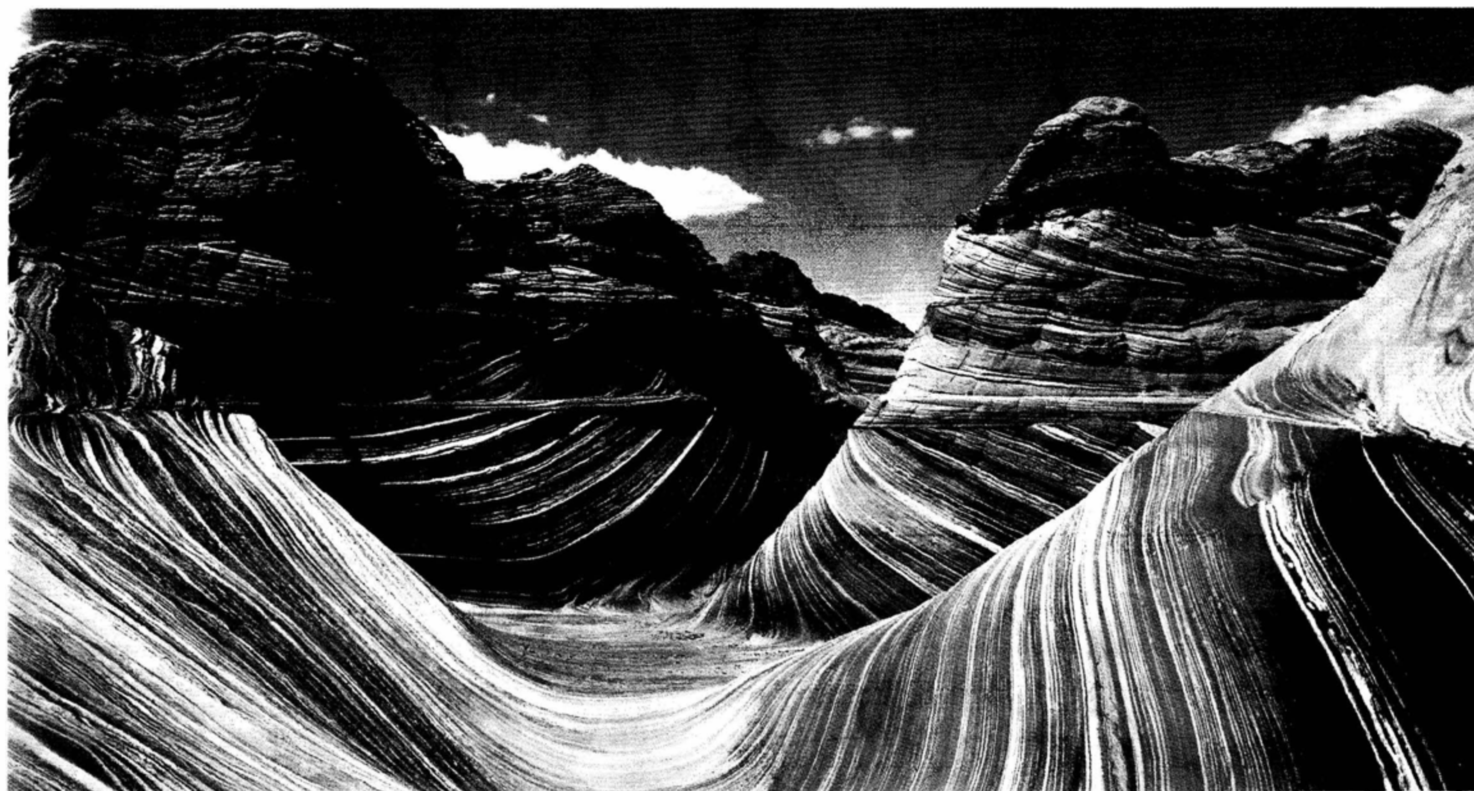


SUS **Dacă este găsită ca fosilă conservată pe un munte, departe de orice ocean, o simplă cochilie poate avea implicaţii uimitoare pentru istoria Pământului.**

Ştiinţele Pământului, mai mult decât orice alt domeniu de cercetare ştiinţifică, sunt legate inextricabil de trecerea timpului. Studiul geologiei – fundaţia tuturor ştiinţelor Pământului – a fost descris ca ştiinţa care povesteşte trecerea timpului şi stabileşte datele şi ordinea evenimentelor de pe Pământ. Mai devreme sau mai târziu, orice investigaţie geologică trece de la proces la istorie, apoi la evenimentele care s-au produs într-o anumită perioadă din trecut. Deci, măsurarea timpului – pentru un geolog – este aproape o religie.

Niciun alt domeniu ştiinţific nu a necesitat construirea propriei scale speciale a timpului. Nu există o scală oficială a timpului biologic sau chimic. Toate celelalte domenii de cercetare folosesc numai intervalele de timp cunoscute nouă tuturor: secunde, minute, ore, zile, ani. Geologii, pe de altă parte, vorbesc despre perioade şi epoci, ere şi zone, etape şi serii: subdiviziunile a ceea ce se numeşte scala timpului geologic. Măsurarea timpului este, evident, indispensabilă studiului geologiei şi este şi o sursă de mari erori, confuzii şi chiar dezamăgiri pentru toţi geologii şi alţi savanţi ai ştiinţelor Pământului care încearcă să smulgă adevărul din învelişul pietros al planetei noastre.

JOS **Forţe titanice, acţionând în perioade imense de timp, ce depăşesc cu mult experienţa noastră umană limitată, au creat peisaje de o sublimă frumuseţe şi, pentru un geolog, nesfârşit de fascinante.**



INDUSTRIE ŞI ŞTIINŢĂ



Geologia, una dintre ştiinţele-cheie care studiază Pământul, este o disciplină şcolară modernă numai de două secole. A fot creată atât din raţiuni economice, cât şi din motive ştiinţifice, iar această alianţă îngrijorătoare între motivele economice şi cele ştiinţifice a avut un efect marcant asupra istoriei sale. S-a născut din necesitate, fiind un adevărat copil al Revoluţiei Industriale europene. Nu ar fi existat cărbune, benzină, fier, sau o mie de alţi combustibili şi minerale fără prospecţiunile geologice, iar aşa cum Europa secolului XIX avea nevoie de aceste materiale pentru funcţionarea industriilor sale nou-apărute, societatea noastră are încă la fel de mare nevoie de ele.

Totuşi, geologia nu este doar ramura de cercetare a industriei. A devenit un câmp vibrant de cercetare intelectuală intensă, iar acum îşi uneşte eforturile cu ale altor ştiinţe pentru a examina nişte întrebări ştiinţifice care-i depăşesc cu mult obiectul original de studiu.

De exemplu, geologii şi astronomii privesc acum împreună la planetele îndepărtate din cer, iar geologia şi-a unit forţele cu biologia pentru a ajuta la dezlegarea misterelor vieţii. Unele dintre cele mai interesante descoperiri ştiinţifice au venit din geologie. Descoperirea că toate continentele pot aluneca pe suprafaţa planetei, stabilirea vârstei Pământului şi dezlegarea istoriei vieţii, toate pot fi atribuite geologilor.

MIT ŞI TRADIŢIE

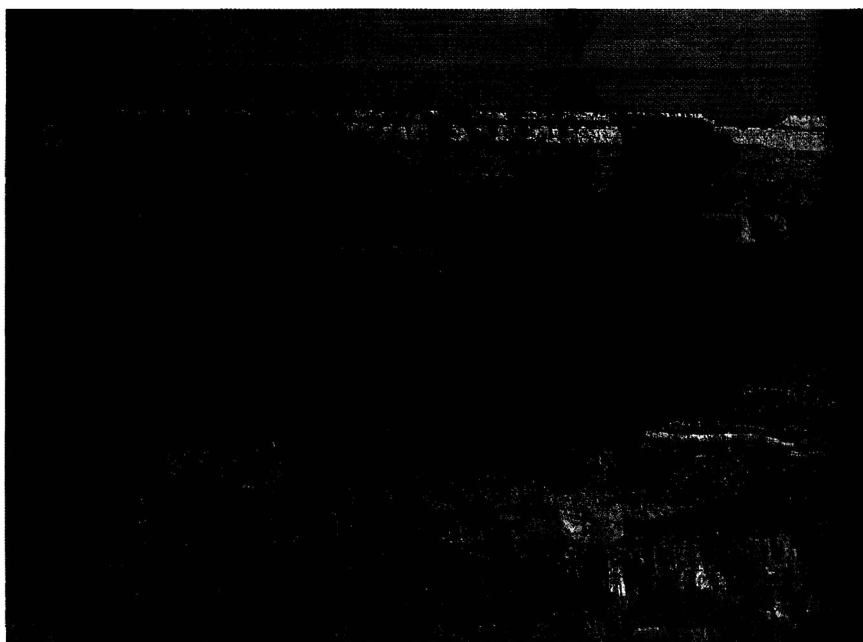
Cu timpul, geologii au devenit îngrijoraţi din două motive foarte diferite. Primul era cel economic. Primii geologi au descoperit că pot găsi mai uşor minerale şi combustibili cu valoare economică dacă înţeleg structura suprafeţei Pământului. Ei şi-au dat seama rapid că, pentru a face asta, au nevoie de o metodă de datare a rocilor. Al doilea motiv, totuşi, era mai academic: mulţi savanţi erau foarte curioşi să ştie câte mii sau milioane de ani avea Pământul.

Aflarea vârstei Pământului era o căutare care fusese de mult încredinţată teologilor, care nu căutau în înseşi structurile Pământului, ci printre scrierile sacre ale profeţilor omenirii. Răspunsurile lor variau între câteva mii de ani şi infinit. Tradiţia hindusă măsura vârsta ca fiind ceva mai mult decât două miliarde de ani, în timp ce unele calcule ebraice şi creştine duceau la valori mai mici de 10000 de ani. Iniţial, discrepanţele nu au contat, deoarece problema nu avea importanţă practică. Dar, odată cu declanşarea Revoluţiei Industriale în secolul XVIII, însoţită de setea de metale şi combustibili, totul s-a schimbat.



SUS **Primele estimări ale vârstei Pământului provin din miturile Creaţiei. În secolul XVII, un studiu atent al Genezei l-a condus pe James Usher, arhiepiscop de Armagh, la concluzia că lumea a fost creată pe 23 octombrie, în anul 4004 î.Hr., la ora 9 dimineaţa.**

STÂNGA **Alimentată cu cărbuni şi turnată în fier, Revoluţia Industrială a dat semnalul unei noi ere a foamei de resurse naturale. Geologia a dobândit dintr-o dată o importanţă economică vitală şi a început să se transforme într-o ştiinţă adevărată.**



DREAPTA **Descoperit în lucrările de canalizare din secolul XVIII în Leicestershire, Anglia, acest peşte fosilizat este un bun exemplu al rămăşiţelor folosite de către William Smith – unul dintre primii savanţi geologi – pentru determinarea vârstelor relative ale rocilor.**

Aplicaţiile ştiinţei

Primii oameni care au folosit abordările ştiinţifice pentru a înţelege vârsta fiecărei roci – şi deci vârsta Pământului – au fost inginerii care lucrau în regiunile miniere, care aveau nevoie de un sistem mai bun de înţelegere a grămezilor aparent haotice de roci ce se formau la suprafaţa Pământului. Ei au înţeles treptat că dacă diferitele unităţi de rocă puteau fi datate, stabilindu-li-se vârstele relative, devenea posibilă o corelaţie între rocile care se aflau la distanţă una de alta. Astfel, se putea face puţină ordine în haosul geologic. Dar cum puteau fi datate rocile cu precizie?

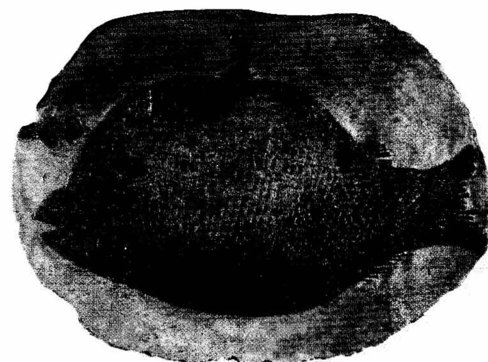
Geologii europeni din secolul XVIII credeau că tipul unei roci era cel mai bun indiciu cu privire la vârsta ei. Ei au presupus că toate rocile de un anumit tip, cum sunt graniturile, se formaseră în acelaşi timp. La începutul anilor 1800, totuşi, şi-au dat seama în mod corect că alcătuirea sau conţinutul mineral al unei roci este independent de vârsta ei.

Principalul lor instrument de datare fiind astfel discreditat, geologii erau descumpăniţi. Dar apoi a fost descoperit un nou mod de determinare a vârstei pentru cel puţin unele tipuri de roci: folosirea resturilor ciudate, pietrificate ale animalelor şi plantelor care erau adesea găsite în anumite roci: fosilele.

JOS **Spectaculosul Grand Canyon din Arizona a fost creat de râul Colorado prin erodarea pe verticală a straturilor orizontale de rocă, aşezate unul peste altul. Cu cât straturile se află mai jos, cu atât sunt mai vechi, iar rocile de pe fundul canionului au două miliarde de ani.**



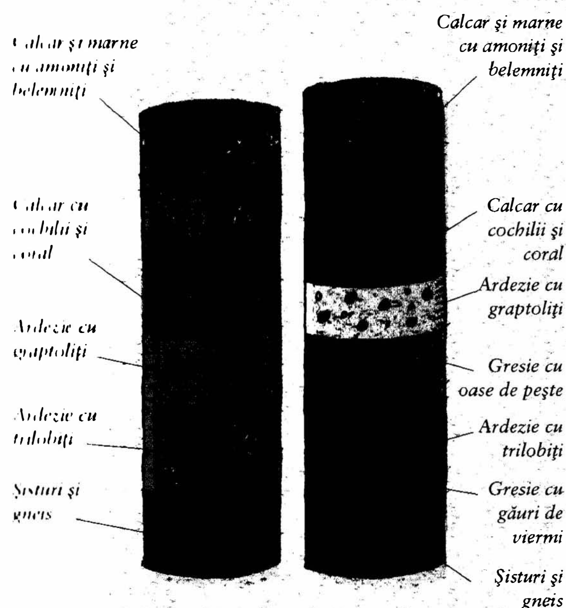
DOVEZI FOSILE



Când animalele şi plantele mor, rămăşiţele lor sunt de obicei distruse, dar uneori sunt îngropate în mâl sau în alte sedimente cât sunt încă întregi. Părţile cele mai moi de obicei putrezesc foarte repede, dar părţile mai dure, precum cochiliile sau oasele, rezistă mult mai mult. Dacă sedimentele din jurul lor se întăresc, devenind roci solide, aceste rămăşiţe conservate pot supravieţui milioane de ani, sub formă de fosile.

Multe fosile prezintă un interes imens, deoarece sunt rămăşiţele unor organisme care au dispărut. Când rocile care le conţin pot fi datate, fie absolut fie relativ, fosilele arată cum s-a schimbat sau cum a evoluat viaţa în timp. Dar fosilele pot fi şi ele de ajutor.

Deoarece cele mai multe specii de animale şi plante există pe Pământ de o perioadă relativ scurtă de timp – geologic vorbind – ele pot defini vârstele rocilor care le conţin. Adevărata lor natură este irelevantă pentru acest scop, câtă vreme pot fi identificate. Deci, deşi William Smith – primul om care a folosit fosilele în acest mod – ştia probabil foarte puţină biologie şi nu ştia nimic despre evoluţie, a putut clasifica straturile de rocă prin fosilele identificabile pe care le conţineau. El a folosit această clasificare pentru a întocmi prima hartă geologică.



SUS Dacă rocile luate din diferite locuri conţin aceleaşi fosile, aproape sigur au aceeaşi vârstă. Aceasta permite corelarea straturilor, chiar dacă unele dintre secvenţe nu se potrivesc identic. Aici secvenţa din dreapta conţine două straturi în plus.

UN NOU INSTRUMENT PUTERNIC

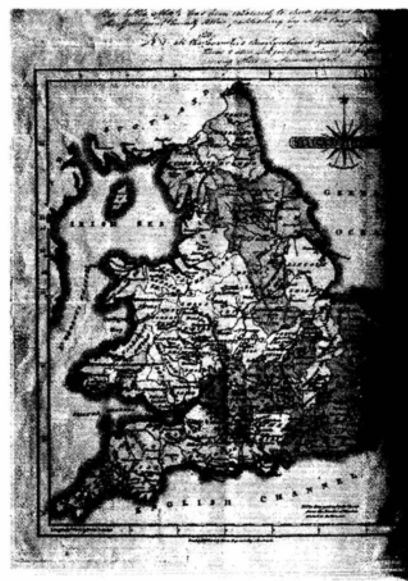
osilele erau cunoscute de mult timp lumii ştiinţifice, dar până la sfârşitul secolului XVIII nu fuseseră nicicând considerate altceva decât nişte curiozităţi fără valoare ştiinţifică. Dar un englez cu foarte mult simţ practic, folosind numai ciocanul şi dalta, a schimbat pentru totdeauna această părere.

William Smith era un geolog angajat de inginerii care construiau sistemul de canale britanic, aflat în expansiune în ultimii ani ai secolului XVIII; el a fost intrigat de fosilele pe care le întâlnea de obicei în cursul muncii sale. În timp ce examina săpăturile excavate de-a lungul traseelor canalelor, şi-a dat seama că vedea aceeaşi succesiune a tipurilor de fosile în roci.

Mulţi naturalişti de dinaintea lui Smith au observat că fosilele dintr-un strat de roci mai adânc erau adesea diferite de fosilele care se află în straturile mai tinere, de deasupra. Dar, înaintea lui Smith, nimeni nu observase că succesiunea fosilelor din straturi era adesea aceeaşi în regiuni diferite. În asta a constat lovitura sa de geniu: nu o anumită fosilă era cea care determina vârsta, ci succesiunea caracteristică a mai multor fosile şi faptul că că aceleaşi grupuri de fosile apar în aceeaşi ordine oriunde într-o regiune. Asta i-a permis lui Smith să coreleze straturile din roci aflate la distanţă şi nu păreau să aibă o legătură evidentă.

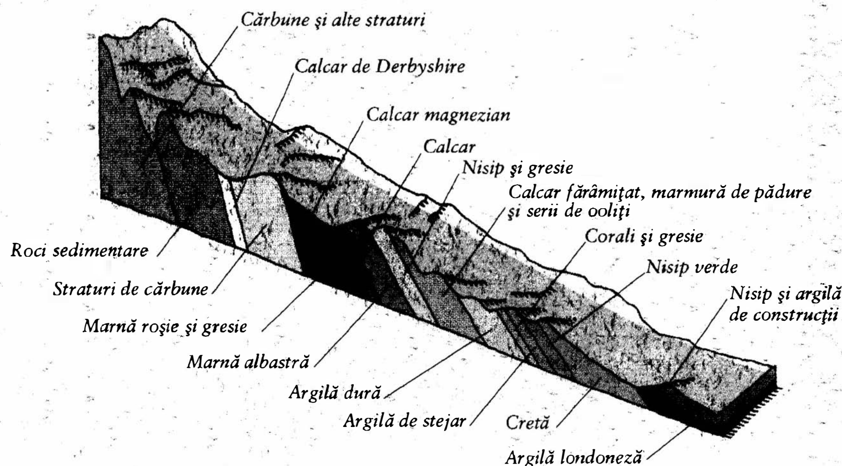
JOS William Smith şi-a creat hărţile geologice pictând informaţiile pe hărţile existente publicate de John Cary din Londra, folosind acuarele pentru a indica diferitele straturi de roci. Această convenţie de codificare a culorilor este încă folosită în hărţile geologice moderne.

La început, marea descoperire a lui Smith a fost făcută cunoscută numai în cercul său de cunoştinţe. Într-adevăr, el a anunţat-o mai întâi într-un bar. Dar treptat s-a răspândit vestea noului său sistem, iar până în al doilea deceniu al secolului XIX, geologii au început să-şi dea seama că anumite tipuri de roci s-ar fi putut forma în orice perioadă, dar anumite fosile s-au format numai în anumite perioade din istoria Pământului.



În acest caz, aveau la îndemână un nou instrument puternic. Nu putea determina vârsta reală a rocilor în ani. Dar fosilele puteau fi folosite pentru a face o determinare foarte precisă a rocilor mai tinere şi a celor mai bătrâne – cu alte cuvinte, a vârstei lor relative. Pentru majoritatea scopurilor lor practice, era destul. Era posibilă înţelegerea şi cartografierea structurii suprafeţei terestre, iar în schimb asta a dus la descoperirea secretelor subpământene şi a comorilor minerale.

JOS După ce a creat hărţile de aflorimente de roci, Smith a putut să deducă aranjarea straturilor sub pământ, de-a lungul unei linii care se întindea de la Londra la munţii din nordul Ţării Galilor.



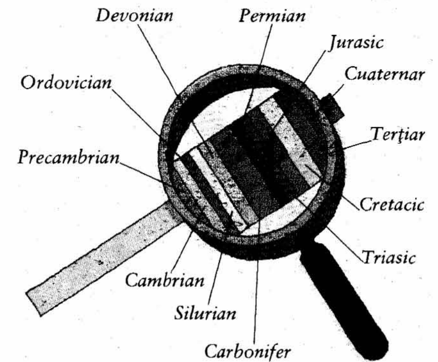
STRATURILE ŞI PRINCIPIUL SUPERPOZIŢIEI

Unul dintre principiile de bază ale geologiei este principiul superpoziţiei, care a fost înţeles mai întâi în secolul XVII de către un danez numit Nicolaus Steno.

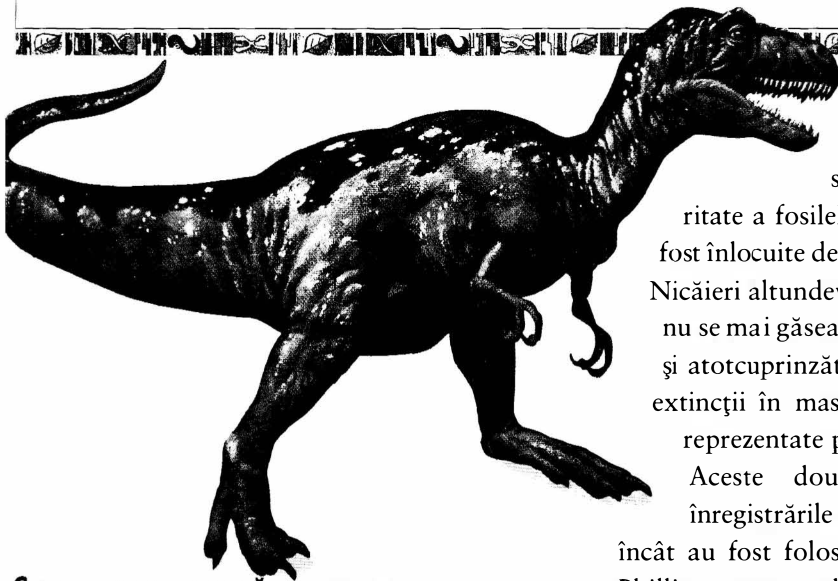
În orice zonă în care rocile sunt aşezate pe straturi, bunul simţ ştiinţific decretează că mai întâi s-a format stratul aflat cel mai jos, apoi cele aflate deasupra lui. Acest principiu de bază se menţine indiferent unde s-au format straturile de roci din mâl solidificat sau din alte sedimente, ori reprezentând scurgeri succesive de lavă, cenuşă sau alte materiale aruncate şi împrăştiate în jur de vulcanii în erupţie.

Acolo unde rocile formează straturi clare orizontale, principiul poate fi aplicat cu încredere. Dar uneori straturile au fost curbate, îndoite şi fragmentate de forţele care produc cutremure, iar alteori au fost răsturnate. De asemenea, între straturile mai vechi de rocă pot fi inserate roci topite, întrerupând secvenţa. Deci stabilirea vârstei relative a rocilor folosind principiul superpoziţiei are capcanele sale. Din fericire, există metode de a le evita, iar principiul are un mare avantaj: poate fi aplicat pe teren fără vreun alt echipament special, în afara ochiului format al geologului.

STABILIREA SUCCESIUNII TEMPORALE



SUS **Straturile de rocă oferă o înregistrare remarcabilă a istoriei Pământului, fiecare strat reprezentând o perioadă geologică. Fiecare strat are grosimea de sute de metri.**



STÂNGA **O mare parte din Mezozoic, care a început acum 250 de milioane de ani, Pământul a fost dominat de dinozauri. Mezozoicul s-a încheiat cu dispariţia lor, acum 65 de milioane de ani.**

SCALA GEOLOGICĂ A TIMPULUI

Tehnica folosirii fosilelor ca indicatori relativi ai timpului a fost preluată rapid de către geologii din toată Europa. Au fost definite diviziuni majore de timp pe baza ansamblurilor unice de fosile. Aceste diviziuni au devenit unităţile de măsură ale timpului geologic.

Examinând îndeaproape înregistrarea stratigrafică – informaţiile păstrate în straturile de rocă, geologii şi-au dat seama că există două puncte în care schimbările în ansamblurile de fosile erau deosebit de dramatice. În partea de sus a secvenţei de straturi a sistemului Permian şi în partea de sus a unei secvenţe mult mai tinere de straturi, denumite sistemul Cretacic, vasta majoritate a fosilelor de animale şi de plante au fost înlocuite de tipuri radical diferite de fosile. Nicăieri altundeva în înregistrarea stratigrafică nu se mai găseau asemenea schimbări abrupte şi atotcuprinzătoare – schimbări care indicau extincţii în masă ale plantelor şi animalelor reprezentate prin fosilele din roci.

Aceste două schimbări radicale din înregistrările fosile au fost atât de dramatice încât au fost folosite de un englez numit John Phillips pentru subdivizarea înregistrării stratigrafice – şi a istoriei vieţii pe care o conţine – în trei blocuri de timp pe scară mare: Paleozoic, Mezozoic şi Cenozoic (Neozoic).

Era Paleozoică, sau perioada vieţii vechi, a durat de la apariţia creaturilor cu schelet, acum 530 de milioane de ani, până la o extincţie majoră, acum 250 de milioane de ani. Era Mezozoică, sau perioada vieţii de mijloc, a început imediat după marea Eră Paleozoică şi s-a încheiat acum 65 de milioane de ani cu extincţia dinozaurilor. Era Cenozoică, sau perioada vieţii noi, a durat de la ultima extincţie în masă până în prezent.



WILLIAM SMITH
1769–1839
Inginer şi geolog, Smith a realizat prima hartă geologică corectă, corelând ansamblurile de fosile din aflorimente foarte separate ale straturilor de rocă.

ROCI SEDIMENTARE, METAMORFICE ŞI VULCANICE

Fosilele se găsesc în rocile sedimentare, care sunt straturi întărite şi cimentate de mâl, nisip, particule de calcar sau alte materii granulare. Cele mai multe roci sedimentare, precum calcarele şi argilele s-au format din paturile de sedimente submarine, deşi multe gresii şi-au început viaţa ca dune de nisip sau alte roci, apărute ca grămezi de sfărâmături lăsate de gheţari.

Dacă aceste roci sunt supuse căldurii extreme de către forţele titanice care încreţesc munţii, se pot transforma în alte tipuri de roci, în cadrul unui proces numit metamorfism. Deci dacă, de exemplu, calcarul este încălzit destul de mult, se poate transforma în marmură, iar dacă argila este supusă unei presiuni destul de mari se poate transforma în ardezie.

Dacă una dintre aceste roci metamorfice este încălzită sau comprimată şi mai mult, se poate transforma din nou în alt tip de rocă metamorfică. Ardezia poate deveni filită, apoi şist, apoi în final gneis, pe măsură ce forţele care provoacă metamorfismul devin tot mai intense. Deloc surprinzător, aceste procese distrug în mod normal toate fosilele care ar fi putut fi conservate în sedimentele originale.

Căldura care provoacă de obicei metamorfismul este generată de obicei de rocile topite care izvorăsc de dedesubt. Când această rocă topită se solidifică, formează roci vulcanice precum granitul şi bazaltul. Aceste roci sunt în general foarte dure, deoarece sunt compuse din cristale întrepătrunse de minerale, precum cuarţul şi feldspatul, olivina şi piroxina. Totuşi, când sunt expuse intemperiilor, se rup treptat în fragmente care sunt luate de râuri şi depuse în mare – formând paturi de sedimente care vor alcătui apoi rocile sedimentare.

IERARHIA ROCILOR

Phillips a înţeles foarte corect originea celor trei diviziuni: el şi-a dat seama că de două ori în istoria Pământului, viaţa aproape că dispăruse, iar numai o mică parte din specii supravieţuiseră catastrofelor, oricare ar fi fost cauza lor. Phillips a tras concluzia că istoria vieţii pe Pământ a fost întreruptă în trecut de perioade de distrugeri masive, numite acum extincţii în masă.



Astfel s-a stabilit o ierarhie a unităţilor de rocă, fiecare bazată pe rocile existente şi pe fosilele pe care le conţineau, dar fără a avea atribuite date. Sistemul Jurasic, de exemplu, a fost definit ca fiind format de toate rocile sedimentare depozitate între prima apariţie a fosilelor unei specii de amoniţi şi ultima apariţie a unei alte fosile de amoniţi, despre care se ştie că a trăit mult mai târziu. Perioada în care s-au format depozitele jurasice este denumită perioada Jurasicului, dar întrucât nu ştia nimeni nici când a început nici când s-a terminat, nimeni nu ştia cât a durat.



Astfel, stabilirea duratelor folosind fosilele are limitaţii severe. Mai mult, chiar şi atribuirea unei vârste relative era imposibilă pentru rocile care nu conţineau fosile, precum rocile vulcanice formate din lavă solidificată, sau rocile metamorfice, care fuseseră supuse presiunii sau căldurii extreme. Chiar în rocile sedimentare, fosilele abundă rareori, iar multe roci sedimentare, precum cele depozitate în gheţari sau în râuri, nu au deloc fosile deoarece rămăşiţele sunt distruse înainte de a se conserva. În consecinţă, trebuia găsită altă metodă.



SUS ŞI STÂNGA **Fosilele, rămăşiţele pietrificate ale organismelor de mult dispărute, au oferit prima metodă sigură de evaluare a vârstelor relative ale straturilor de roci. Identificarea fosilelor-cheie, care au trăit numai într-o anumită perioadă, în anumite medii, dă o indicaţie destul de clară a modului în care se ordonează rocile în secvenţa timpului. Dar fosilele se găsesc numai în rocile sedimentare – cele care sunt formate din sedimentele depuse pe fundul mării – şi oferă numai o indicaţie relativă a vârstei rocii, nu vârsta sa absolută..**



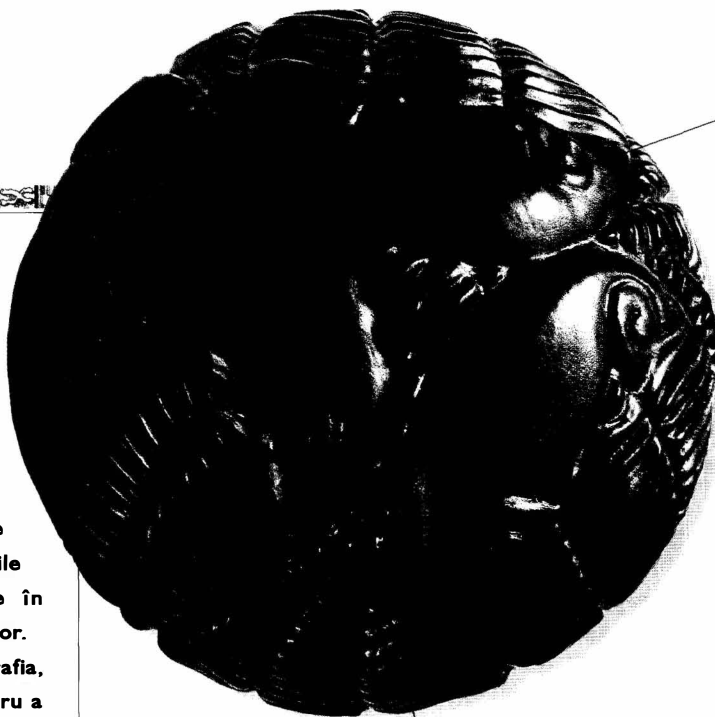
SUS **Ritmul glaciaţiunilor din erele geologice face ca adevărata vârstă a Pământului să fie dificil de stabilit. Aceste roci ieşite la suprafaţă deasupra gheţarului Gorner din Alpii elveţieni au fost probabil sedimente depuse pe fundul unui ocean şi ridicate de coliziunea dintre Africa şi Europa, acum peste 60 de milioane de ani, înainte ca strămoşii noştri să se diferenţieze de cei ai cimpanzeilor. Totuşi, ele sunt roci tinere, conform standardelor geologice, câtă vreme cele mai vechi formaţiuni cunoscute de rocă au cel puţin 3800 de milioane de ani.**

Pământul în răcire al lui Kelvin

La sfârşitul anilor 1800, căutarea unor metode mai sigure de datare a rocilor nesedimentare era unul dintre scopurile majore ale ştiinţelor care studiau Pământul. Motivele economice erau încă importante, la fel cum fuseseră la începutul secolului XIX. Dar, pe măsură ce secolul se apropia de sfârşit, savanţii au devenit tot mai interesaţi de determinarea vârstei Pământului însuşi.

Au apărut două curente principale de idei. Cei mai mulţi geologi, cunoscând grosimea imensă a rocilor sedimentare de pe tot globul, credeau că trecuseră milioane de ani de la formarea Pământului. Marea diversitate de fosile încastrate în toate aceste straturi pare să susţină acest punct de vedere, întrucât, conform teoriei lui Darwin despre evoluţia plantelor şi animalelor prin selecţie naturală, au fost necesare perioade imense de timp pentru a permite schimbările evolutive necesare spre a crea marea diversitate a organismelor vii, existente încă, şi a celor dispărute. Pe de altă parte, fizicienii credeau că Pământul avea cel mult câteva sute de milioane de ani, iar controversele dintre fizicieni şi naturalişti erau puternice şi adesea extrem de aprinse.

Cel care a fost faimos pentru studierea problemei în secolul XIX este William Thomson – mai cunoscut după titlul său, baron Kelvin de Largs, sau pe scurt lord Kelvin. Datorită intuiţiei strălucite şi calculelor sale matematice, Kelvin a făcut primul calcul ştiinţific al vârstei Pământului: ceva mai puţin de 100 de milioane de ani.



Datarea fosilelor
Fiecare perioadă de activitate geologică şi-a lăsat propria gamă de specii fosile – deci putem data o rocă după tipul de fosile pe care le conţine.

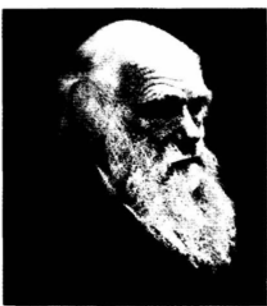
Întrucât fosilele apar numai în rocile sedimentare şi numai în rocile formate de la evoluţia formelor de viaţă cunoscute, ele nu pot fi folosite pentru datarea rocilor vulcanice sau a rocilor metamorfice foarte vechi.

EVOLUŢIE ŞI TIMP

Teoria lui Darwin privind evoluţia prin selecţie naturală oferă fundamentul ştiinţific pentru cea mai comună metodă de determinare a timpului geologic: practica denumită biostratigrafie. În principiu, diferitele forme de animale şi plante evoluează în timp într-o succesiune cunoscută, iar identificarea rămăşiţelor fosile ale acestor forme biologice conservate în straturile de rocă face posibilă datarea rocilor.

Când a fost aplicată prima dată biostratigrafia, la sfârşitul secolului XVIII, era folosită pentru a atribui rocilor date relative. Nimeni nu ştia cât de vechi erau fosilele în termeni absoluţi, sau câţi ani se scurseseră între depunerea diferitelor forme fosile. Dar când teoria selecţiei naturale a lui Darwin – publicată prima dată în anul 1858 – a devenit general acceptată, a devenit evident că evoluţia este un proces extrem de lent şi foarte aleator, în care noile forme de viaţă apar accidental, apoi dispar înainte de a se mai reproduce. Timpul necesar pentru apariţia unui nou tip de organism şi pentru formarea fosilelor lui trebuia numărat în milioane de ani, nu în mii de ani.

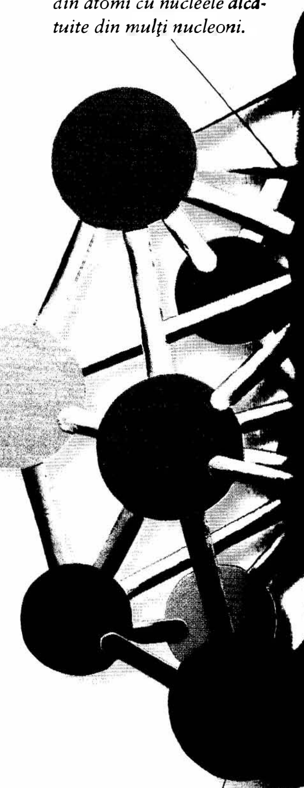
Şi astfel, printr-un calcul aritmetic simplu, a devenit clar – pentru evoluţionişti – că imensa varietate de organisme de pe Pământ trebuie să fi evoluat într-o foarte lungă perioadă de timp. Asta însemna că planeta trebuie să aibă cu mult mai mult decât cei 100 de milioane de ani calculaţi de Kelvin şi de alţi fizicieni.



CHARLES DARWIN
1809 - 1882
Printr-o combinaţie de inspiraţie şi cercetări sârguincioase, Darwin a propus un mecanism de evoluţie care putea să funcţioneze numai în perioade de timp imens de lungi, forţând geologii să-şi revizuiască estimările asupra vârstei Pământului..

Estimarea lui Kelvin se baza pe studiul căldurii şi al fluxurilor de căldură. În vremea lui Kelvin se ştia că fiecare transfer de energie de la un corp la altul duce la formarea căldurii, care este apoi disipată. Acest fapt, care până la urmă a devenit cunoscut sub numele de a doua lege a termodinamicii, este motivul pentru care este imposibilă construirea unui perpetuum mobile. Kelvin a tras concluzia că Pământul şi Soarele sunt în curs de răcire, iar stabilind temperaturile iniţiale ale ambelor corpuri cereşti şi ratele de pierdere a căldurii, ar putea reuşi să le estimeze vârsta.

Metoda lui Kelvin de a afla vârsta Pământului a implicat aflarea ratei de pierdere a căldurii de către Soare şi Pământ. În timp ce măsurarea ratei de pierdere a căldurii de către Soare era dificilă, măsurarea pierderii de căldură a Pământului era relativ uşoară. Erau necesare trei valori: temperatura iniţială a Pământului, conductivitatea termală a rocilor şi fluxul actual de căldură. El a folosit valoarea de 3870°C ca temperatură iniţială a Pământului, deoarece se credea că este o estimare rezonabilă a temperaturii la care rocile se topesc şi devin lichide. Procedând astfel, el a presupus că



Datarea radioactivă
Toate rocile sunt alcătuite din minerale, care sunt compuşi ai elementelor. Fiecare element este compus din atomi cu nucleele alcătuite din mulţi nucleoni.

Din momentul în care s-au format, unele molecule din roci încep să se descompună – adică, să se deterioreze radioactiv. Măsura în care moleculele s-au deteriorat indică vârsta rocii.

JOS **Vârsta formațiunilor geologice poate fi stabilită în diferite moduri: din tipurile de fosile pe care le conține, prin datare radioactivă și din orientarea magnetică a cristalelor din roci.**

Pământul s-a format dintr-o masă fierbinte, topită, nu prin unirea mai multor fragmente reci. El a obţinut în laborator măsurători ale fluxului de căldură din diferite tipuri de roci. Tot ce dorea era o măsură a ratei actuale de eliberare a căldurii din interiorul Pământului şi a aflat-o măsurând temperatura Pământului la diferite adâncimi din minele subterane.

Aceste experimente au arătat că într-adevăr, căldura se scurge către exterior din interiorul Pământului – atât de multă căldură, încât Pământul trebuie să se fi format cu mai puţin de 100 de milioane de ani în urmă. Ceea ce Kelvin nu a reuşit să aprecieze – foarte rezonabil – a fost faptul că încă era generată căldură în interiorul Pământului, deci acesta se răceşte cu mult mai lent decât sugerau datele sale privind fluxurile de căldură.

Datare paleomagnetică Prelevarea unei mostre de rocă și înregistrarea orientării ei precise permite datarea rocii prin paleomagnetism.

Micile cristale magnetice din multe roci sunt aliniate cu câmpul magnetic al Pământului, așa cum era el când s-au solidificat rocile.

Fiecare element radioactiv se descompune cu viteză constantă într-un element-copil, deci stabilirea proporțiilor atomilor părinte și copil dintr-o rocă dă măsura vârstei sale.

Anumite minerale din roci se întorc asemenea acului busolei pentru a se alinia cu câmpul magnetic al Pământului atunci când se formează. Direcția poate fi comparată cu schimbările de polaritate cunoscute din istoria magnetică a Pământului pentru a stabili vârsta rocilor.

ROCILE CARE SE ACUMULEAZĂ

Una dintre principalele obiecții asupra ipotezei unui tânăr Pământ era grosimea rocilor sedimentare care se aflau la suprafața Pământului. În anul 1895, geologul William Sollas a estimat că dacă rocile sedimentare de diferite vârste ar fi fost puse una peste alta într-o coloană continuă, coloana ar avea înălțimea de 100 km – ceea ce înseamnă de peste 11 ori înălțimea muntelui Everest.

O astfel de coloană ar necesita destul de mult timp să se formeze, presupunând că procesele (și vitezele) de acumulare a rocilor sedimentare ar fi uniforme în timp. Această presupunere a fost justificată prin principiul uniformității enunțat de James Hutton (1726-1797). Adesea considerat părintele geologiei, Hutton și-a dat seama că rocile din Scoția lui natală erau rezultatul proceselor care puteau fi observate în acțiune pretutindeni în jur – procese ca eroziunea, depunerea sedimentelor și erupțiile vulcanice – iar aceste procese se desfășurau cu aceleași viteze, indiferent când se produceau.

Sollas și-a pus următoarea întrebare: care este viteza cu care ne putem aștepta să se acumuleze rocile sedimentare, în trecut și în prezent? Presupunând o viteză de acumulare de circa un metru în 300 de ani, el a obținut o estimare a vârstei Pământului de circa 34 de milioane de ani de când a început sedimentarea. Totuși, aceasta era în mare măsură o cifră minimă, deoarece avea la bază presupunerea că straturile de roci sedimentare s-au acumulat fără pauze sau întreruperi. Asta nu se întâmplă în natură, deoarece sedimentarea este întreruptă de perioade de eroziune. Mai mult, estimarea lui Sollas nu lua în calcul lunga perioadă de timp de dinaintea începerii sedimentării, când suprafața Pământului era în stare lichidă.

De fapt, cele mai vechi roci sedimentare descoperite până acum s-au format cu peste 3400 de milioane de ani în urmă – o perioadă de o sută de ori mai mare decât estimarea lui Sollas.



SUS Kelvin a presupus că lava care erupea din vulcani era rocă topită rămasă de la formarea Pământului. De fapt, a fost creată prin căldura radioactivității în interiorul Pământului – o sursă de energie care era încă necunoscută în epoca lui Kelvin.

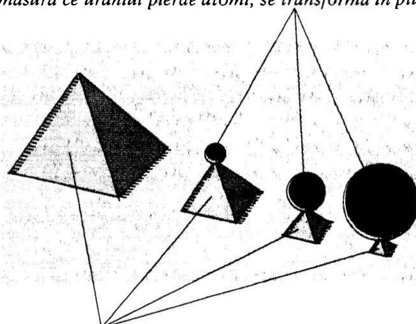
DREAPTA Pe măsură ce atomii de uraniu-235 radioactiv pierd din nucleoni, ei se transformă în atomi de plumb. Jumătate din uraniul rămas se transformă în plumb la fiecare 704 milioane de ani, deci dacă o mostră de rocă are uraniu-235, măsurarea proporțiilor de uraniu și plumb arată câte perioade de înjumătățire s-au scurs de la formarea rocii.

ÎNJUMĂTĂȚIREA RADIOACTIVĂ

Unele dintre elementele chimice care formează rocile Pământului sunt instabile, deoarece nucleele lor atomice se fragmentează spontan în nuclee mai mici, eliberând energie în acest proces. Fenomenul este numit înjumătățire radioactivă. Când un atom pierde astfel o parte din masa sa nucleară, devine alt element chimic, deci când un atom de uraniu-235, care are 235 de nucleoni în nucleu, pierde 28 dintre ei prin înjumătățire radioactivă, devine plumb-207. Procesul de înjumătățire se produce cu viteză constantă și s-a descoperit că jumătate dintre atomii oricărei probe de uraniu-235 se vor transforma în plumb-207 în 704 milioane de ani. Aceasta se numește înjumătățire radioactivă.

Asta înseamnă că o rocă ce conține uraniu-235 poate fi datată măsurând numărul atomilor-părinte de uraniu și al atomilor-copil de plumb. Comparând cele două valori, se obține o estimare a vârstei rocii, deoarece dacă, să zicem, există de trei ori mai mulți atomi de plumb decât de uraniu, atunci roca a avut două perioade de înjumătățire, adică 1408 de milioane de ani. Alte elemente radioactive se înjumătățesc cu viteze diferite, dar pot fi datate folosind același principiu.

DESCOMPUNEREA RADIOACTIVĂ



Calculele lui Kelvin au fost considerate foarte sigure, nu atât pentru felul în care au fost făcute, ci pentru cine era lord Kelvin. Concluzia sa despre o planetă relativ tânără a fost în curând susținută de alte lucrări care se ocupau de fluxul de căldură, de data asta ale lui Clarence King, director al Geological Survey din Canada. King, folosind metodologia lui Kelvin, a făcut noi estimări ale fluxului de căldură și ale conductivității rocilor. Noua estimare a lui King a fost chiar mai mică decât cea a lui Kelvin: el a calculat că Pământul avea numai 24 de milioane de ani.



Pământul tânăr de 24 de milioane de ani al lui Kelvin

Concluziile Kelvin-King asupra vârstei Pământului au fost larg, însă nu unanim acceptate. Cei mai mari contestatari erau cei familiarizați cu teoria evoluționistă și cu studierea fosilelor – precum cel mai mare susținător al lui Darwin, Thomas Huxley – și cei care studiau viteza de acumulare a rocilor sedimentare. Douăzeci și patru de milioane de ani erau o perioadă mult prea scurtă pentru a cuprinde toate schimbările evolutive vizibile în înregistrările fosile și mult prea scurtă pentru a explica nivelul rocilor sedimentare prezente la suprafața Pământului.



Pământul de 100 de milioane de ani al lui Huxley era ceva mai bătrân

Altă încercare ingenioasă de a face o estimare sigură a vârstei Pământului este denumită „ceasul de sare". Cantitatea de sare din ocean și viteza cu care a ajuns acolo au fost considerate un mod de a calcula vârsta Pământului. Câțiva chimiști au ajuns la o estimare de circa 100 de milioane de ani folosind această metodă, iar până în secolul XX, cei mai mulți savanți ajunseseră la o estimare între 25 și 100 de milioane de ani. Numai evoluționiștii au considerat estimările ca fiind implauzibile și, după cum știm, neîncrederea lor era bine fundamentată. Adevărata vârstă a Pământului se măsoară în miliarde de ani, nu în milioane de ani.



4,54 miliarde de ani Adevărata vârstă a Pământului



STÂNGA **Descoperirea razelor X şi a radioactivităţii au revoluţionat cunoştinţele despre Pământ, oferind un instrument de a stabili vârstele rocilor şi de a explica sursa energiei sale interne.**

DATAREA RADIOMETRICĂ

Către sfârşitul secolului XIX, în culmea gloriei lui Kelvin, au început să apară semnele căderii sale – cel puţin în privinţa estimării vârstei Pământului. În anul 1895, Wilhelm Roentgen din Germania a descoperit razele X, în timp ce un an mai târziu Antoine Henri Becquerel din Franţa a descoperit ciudatele proprietăţi ale uraniului. Doi ani mai târziu, Marie Curie a descoperit proprietăţi similare la elementul numit thoriu şi a folosit cuvântul „radioactivitate" pentru a le descrie.

Radioactivitatea a devenit cheia către determinarea precisă a vârstei rocilor. Descoperirea a fost făcută de către fizicienii Ernest Rutherford şi Frederick Soddy, care, lucrând la Universitatea McGill din Montreal, au stabilit principiile descompunerii radioactive şi ale înjumătăţirii. În anul 1907, Rutherford a sugerat pentru prima dată că procesele de înjumătăţire radioactivă ar putea fi folosite ca şi ceas geologic, declarând:

Dacă viteza de producere a heliului din greutăţile cunoscute ale diferitelor elemente radioactive ar fi aflată experimental, atunci ar fi posibilă determinarea intervalului necesar pentru producerea cantităţii de heliu observate în mineralele radioactive sau, cu alte cuvinte, determinarea vârstei mineralelor.

Cu aceste cuvinte profetice a început o nouă eră a determinărilor. Rutherford a calculat vârstele celor două minerale, stabilind vârste minime de 500 de milioane de ani pentru fiecare. Curând după aceea, alţi cercetători au început să analizeze rocile care conţineau elemente radioactive, folosind metode uşor îmbunătăţite, ce au dus la o serie de vârste cu mult peste cea de 100 de milioane de ani calculată de Kelvin ca vârstă maximă a Pământului. Cea mai mare dintre acestea a fost de 2,2 miliarde de ani. Descoperirea radioactivităţii – şi a ceasului natural pe care îl conţine – a făcut să fie depăşit calculul simplu al lui Kelvin, bazat pe conductivitate.

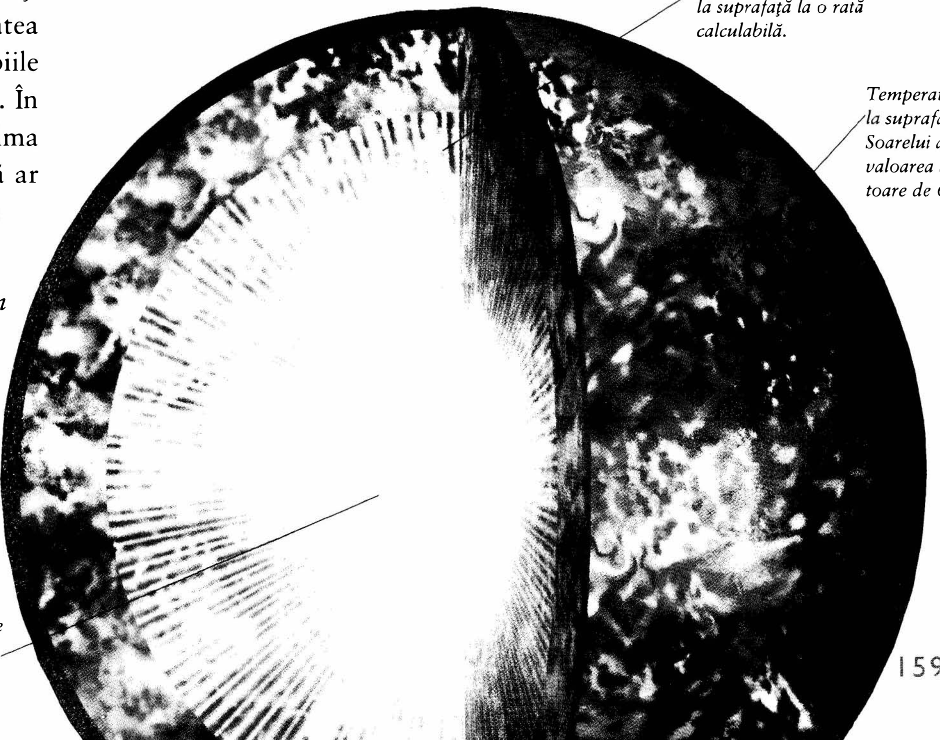
Dar de ce era rezultatul lui Kelvin atât de diferit de vârstele descoperite de către pionierii geocronologiei? Estimarea lui Kelvin se baza pe presupunerea sa că Pământul pur şi simplu se răceşte după o etapă mult mai fierbinte şi că singura sa sursă de căldură este energia radiată de Soare. Acum ştim că Pământul de fapt produce cădură prin procesul de descompunere radioactivă din rocile sale – procesul care permite datarea rocilor.

Căldura din acest vast reactor natural împiedică răcirea Pământului la rata estimată de Kelvin, care l-a dus la concluzia că întregul proces începuse relativ recent. Calculele sale erau corecte, dar nu luaseră în considerare un fenomen care în acel moment nu era cunoscut savanţilor.



LORD KELVIN
1824–1907
Fondator al ştiinţei termodinamicii, Kelvin şi-a folosit cunoştinţele despre fluxurile de căldură – disiparea căldurii din planeta care se răceşte – pentru a calcula vârsta Pământului.

JOS **Estimarea lui Kelvin asupra vârstei Pământului depinde de determinarea vitezei cu care Soarele şi Pământul pierd căldură. Dar căldura Pământului nu provine numai din centrul Soarelui, ci şi din radioactivitatea sa interioară, deci el subestimase vârsta Pământului.**



Soarele pierde căldură la suprafaţă la o rată calculabilă.

Temperatura de la suprafaţa Soarelui atinge valoarea arzătoare de 6000°C.

Căldura este generată în continuu din reacţiile nucleare ce au loc în centrul Soarelui.

Ceasurile vulcanice

Primii geocronologi au examinat descompunerea uraniului în plumb, deoarece uraniul era elementul cel mai radioactiv. Azi sunt utilizate adesea alte elemente radioactive şi elementele în care se descompun, permiţând datarea unei mari varietăţi de roci. Unul dintre cele mai utile este o formă de potasiu, care se descompune formând gazul rar numit argon. Cantităţile din atomii părinte şi copil dintr-o mostră de rocă sunt măsurate folosind un aparat numit spectrometru de masă. În prezent, astfel de aparate sunt printre cele mai comune instrumente importante de laborator, mii dintre ele funcţionând zilnic în toată lumea. Măsurătorile făcute folosind un asemenea echipament arată că Pământul are cel puţin 4,5 miliarde de ani.

Spectrometrele de masă ne-au permis să datăm cu mare precizie multe tipuri de roci. În mod ironic, tehnica funcţionează cel mai bine pe rocile care au rezistat cel mai mult eforturilor savanţilor din secolul XIX de a le determina vârsta – rocile vulcanice care formează centrele lanţurilor de munţi şi râurile de lavă ale vulcanilor lumii. Datarea radiometrică funcţionează mai puţin bine pe rocile care conţin fosile; de fapt, cel mai sofisticat spectrometru de masă din lume este inutil pentru datarea unei roci sedimentare obişnuite ce conţine fosile, deoarece granulele din care este alcătuită roca sunt de obicei derivate din roci vulcanice mult mai vechi.

Iniţial, acest lucru a descurajat toate încercările de a stabili date absolute ale unităţilor de timp geologic cu caracteristici fosile. Singura soluţie a fost de a găsi locurile în care cenuşa vulcanică sau scurgerile de lavă se întrepătrundeau cu vechi roci sedimentare. Acestea au devenit Sfântul Graal pentru savanţi. Ei au învăţat să recunoască un tip de rocă numit bentonită: un strat subţitre de cenuşă vulcanică portocalie care poate fi datat radiometric, însă care apare în mod comun în paturile sedimentare ce conţin fosile. Prin datarea bentonitei dintr-o gamă largă de roci sedimentare, geologii au putut în sfârşit să integreze tehnicile de datare a fosilelor şi cele radiometrice.

JOS Cea mai mare parte din cunoştinţele noastre asupra interiorului Pământului provine din studierea ecourilor undelor seismice, aşa cum reverberează ele prin Pământ. Din studiul lor ştim că este probabil ca miezul Pământului să fie format din fier metalic dens. Rotirea acestui miez lichid duce la formarea câmpului magnetic al Pământului.



INVERSĂRILE DE POLARITATE

Motivul producerii inversărilor de polaritate este un mister. Există multe teorii şi toate se referă la interacţiunile complexe care au loc la mare adâncime în interiorul Pământului. Centrul Pământului nu a fost şi nu va putea fi observat vreodată, totuşi ştim multe despre el din modul în care se deplasează undele seismice pe Pământ. Spre deosebire de mantaua care acoperă miezul – sau partea sa superioară – acesta este lichid şi este alcătuit în principal din fier şi nichel. Miezul este sursa câmpului magnetic, iar perturbaţiile sale, curenţii, curenţii săi de convecţie şi alte deplasări par să declanşeze inversiunile magnetice. Probabil, neregularităţile şi interacţiunile periodice dintre miezul lichid şi materia din jurul său, regiunea solidă a mantalei, declanşează cumva schimbările de fază. Date fiind cunoştinţele noastre curente, putem numai să speculăm.

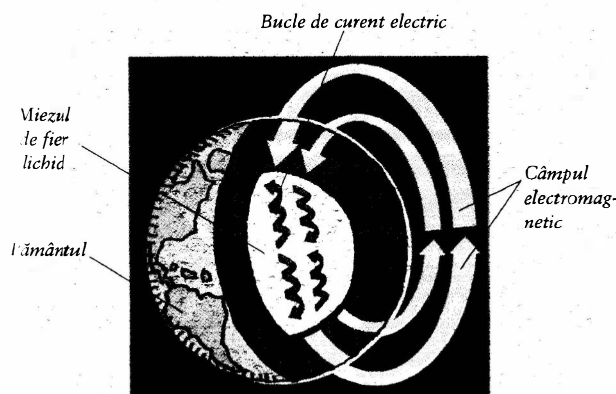
Ceasurile magnetice

Cele două metode de datare folosite mai frecvent în geologie sunt identificarea fosilelor care pot fi datate cu siguranţă şi măsurarea descompunerii radioactive a unui element în altul. Totuşi, dacă trăiţi într-o ţară în care fosilele sunt unice şi noi, sau în care nicio rocă nu conţine minerale cu indicii, adevărate ceasuri radiometrice ticăind în ele, aveţi o problemă. Din fericire, au fost dezvoltate alte metode. Unul dintre cele mai puternice ceasuri naturale este câmpul magnetic al Pământului.

Toţi magneţii au proprietatea interesantă de a fi bipolari – au câte un pol pozitiv şi unul negativ. Dacă polul pozitiv al unui magnet este plasat lângă cel negativ al altui magnet, ei se atrag. Dar dacă întoarceţi unul dintre magneţi astfel ca polii alăturaţi să fie de acelaşi tip, ei se resping. Magneţii permanenţi au întotdeauna aceeaşi polaritate: polii lor pozitiv şi negativ se află întotdeauna în acelaşi loc. Dar un electromagnet, care are câmpul magnetic generat de un curent electric ce curge printr-o bobină, îşi schimbă polaritatea dacă sunt inversate conexiunile electrice.

JOS **Miezul de fier al Pământului este foarte lichid, iar pe măsură ce se roteşte, miezul învolburat şi magnetizat de fier lichid pare să formeze bucle de curenţi electrici care generează un câmp electromagnetic în jurul planetei. Uneori, întreruperile din sistem inversează mecanismul, deci câmpul îşi schimbă polaritatea.**

Pământul electromagnetic



Pământul se comportă ca şi cum ar avea în interior o uriaşă bară magnetică permanentă, aliniată aproximativ pe direcţia nord-sud. Din câte se pare, Pământul este un magnet neobişnuit. De ce are proprietăţi magnetice? Este evident că în crusta sa nu există destul metal pentru a produce enormul câmp magnetic care înconjoară Pământul – un câmp atât de puternic încât poate devia radiaţia solară. Din câte se pare, câmpul este generat din adâncul Pământului, de un miez lichid care se comportă precum un dinam, generând un câmp electromagnetic. Şi, la fel ca toţi electromagneţii, îşi poate schimba polaritatea.

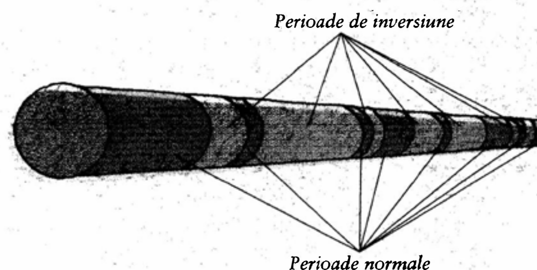
DREAPTA **S-a descoperit că polaritatea câmpului magnetic al Pământului s-a inversat complet la fiecare câteva sute de mii de ani, polul nord schimbându-şi locul cu polul sud. Înregistrarea acestor inversiuni oferă o scală a timpului cu ajutorul căreia pot fi datate rocile.**

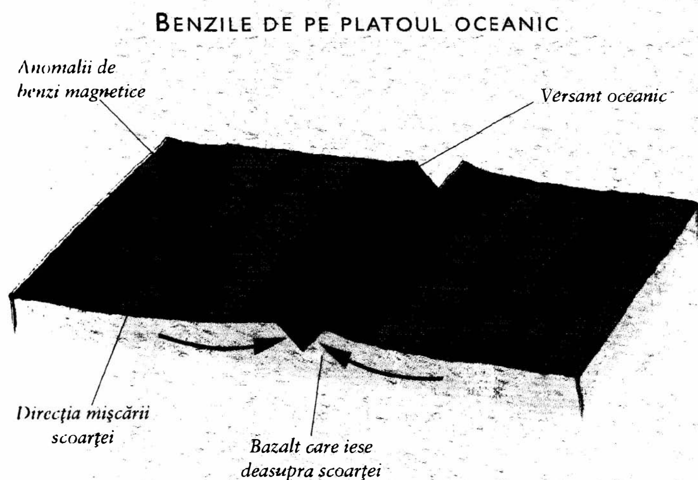
Busolele fosile

Când rocile topite se solidifică, păstrează o înregistrare a câmpului magnetic al Pământului în momentul solidificării. La începutul anilor 1900, doi geologi francezi, folosind cel mai primitiv echipament, au descoperit că aceleaşi aflorimente de lavă din Franţa păstraseră două direcţii de polaritate diametral opuse. Deoarece rocile în care fusese detectată polaritatea se solidificaseră cu mult timp în urmă, ele se comportau ca nişte busole fosile, indicând direcţiile polilor magnetici ai Pământului la momentul formării lor. Faptul că s-au găsit două direcţii opuse în aceleaşi mase de lavă a produs o dezbatere care a continuat timp de decenii. În final, după măsurători repetate ale acestui paleomagnetism cu echipamente tot mai sofisticate, nu mai rămăsese decât o concluzie inevitabilă: câmpul magnetic al Pământului îşi schimbase cumva polaritatea. Rotaţia şi orientarea Pământului nu se schimbaseră, ci direcţia câmpului său magnetic.

Savanţii ştiau de existenţa inversărilor de polaritate cu 50 de ani înainte să apară implicaţiile lor pentru determinarea timpului geologic. În anii 1960, geologii au început să preleveze mostre de scurgeri groase de lavă de pe marginile vulcanilor. Deoarece fiecare scurgere individuală putea fi datată folosind tehnicile bazate pe potasiu şi argon, ei au putut să înregistreze o serie de vârste ale scurgerilor. Pentru fiecare scurgere datată, a fost determinată apoi direcţia paleomagnetică. Spre surpriza cercetătorilor, s-a decoperit nu numai magnetism normal şi inversat, ci şi o întreagă serie de inversări, fiecare putând fi datată radiometric.

Codul de bare magnetice





Bazaltul topit care iese din conul unui vulcan submarin devine solid la contactul cu apa rece și înglobează în structura sa o înregistrare a câmpului magnetic al Pământului din acel moment. Peste ani, mișcările din mantaua de sub crustă îndepărtează versanții platoului oceanic, conservând datele magnetice într-o serie de anomalii de bandă magnetică ale platoului oceanic.

BENZILE MAGNETICE OCEANICE

Geologii au înțeles curând că direcția din prezent, cea „normală" a câmpului magnetic, este așa numai de circa jumătate de milion de ani. Anterior, câmpul era inversat, iar înainte de asta fusese din nou „normal" (ca în prezent). Pe măsură ce prelevau mostre tot mai vechi de lavă, au aflat că intervalul dintre episoadele de inversiune varia de la sute de mii la milioane de ani.

În aceeași perioadă, oceanografii au făcut o descoperire similară despre vulcanii submarini. La începutul anilor 1960, s-a descoperit că noua crustă oceanică este creată din lavă bazaltică, scursă din vulcanii presărați de-a lungul lanțurilor de munți submarini, vulcani numiți centre de erupție. Noua crustă oceanică s-a scurs apoi din centrele de erupție pe versanții muntoși. Când oceanografii au adus magnetometrele la centrele de erupție, au găsit benzi de polaritate normală și inversată, aranjate simetric în jurul centrelor de erupție.

Întrucât știau că benzile crustei oceanice se formaseră secvențial, tot ce le trebuia pentru a obține o cronologie a inversiunilor erau niște date asociate benzilor. Acestea au fost obținute de un vas proiectat să foreze după mostre de rocă pe fundul mării, iar până la sfârșitul anilor 1960, mostrele au furnizat destule informații pentru a permite construirea unei cronologii a polarității geomagnetice.

În sine, inversiunile magnetice sunt practic inutile – sunt numai date binare pozitive sau negative, la fel ca datele folosite într-un computer. Dar, așa cum simplele coduri de computer plus și minus pot înregistra sau dezvălui mari cantități de informații când sunt acumulate destule date, la fel se întâmplă cu codul binar al istoriei inversiunilor. Dacă este combinat cu alte tehnci precum datarea radiometrică, modelul devine un instrument foarte puternic.

La început, nu a fost ușor să se stabilească o relație între cod și rocile sedimentare. Era necesară o înregistrare foarte accesibilă a straturilor grele, măsurabile magnetic, care conțineau și fosile și un semnal paleomagnetic. Dacă putea fi găsită o secvență groasă de asemenea straturi, fosilele puteau fi folosite pentru a atribui date modelelor de inversiune. O asemenea înregistrare a fost descoperită la începutul anilor 1970, în munții Apenini din Italia.

O ÎNREGISTRARE MAGNIFICĂ

Descoperirea a fost făcută de geologul Walter Alvarez și colegul său Bill Lowrie, mai mult sau mai puțin din întâmplare. Ei prelevau probe orientate magnetic din succesiuni groase de calcar alb, căutând dovezi că peninsula italică se rotise în trecut, din cauza mișcărilor plăcilor ce formau scoarța terestră. Analizele de laborator ale acestor probe au arătat că existaseră atâtea mișcări ale variatelor straturi de calcar, încât nu putea fi obținută o istorie detaliată a mișcării plăcilor. Ce aveau totuși la dispoziție era o neașteptată și magnifică înregistrare a inversiunilor magnetice.

Deoarece aceste calcare italiene erau bogate în microfosile (mai ales schelete ale unor organisme planctonice numite foraminiferi), inversiunile magnetice individuale puteau fi corelate cu cele ale lavelor de pe fundul mărilor datate radiometric. Pentru prima dată, fosilele europene puteau fi legate de datele radiometrice folosind istoria inversiunilor magnetice ca punte de legătură; s-a confirmat că înregistrarea detaliată și continuă de pe fundul mării a schimbărilor de polaritate ale câmpului magnetic putea fi și ea detectată în rocile sedimentare găsite pe uscat.

DOVEZI GEOMAGNETICE

Dovezile inversiunilor geomagnetice provin din orientările particulelor microscopice magnetizate, înglobate fie în sedimente, fie în lavă. Cele mai comune astfel de minerale magnetice, denumite magnetite, formează cristale în formă de bare, fiecare având un pol pozitiv şi unul negativ, ca orice alt magnet. Dacă aceste granule minerale există într-un mediu în care se pot deplasa liber, ca apa sau lava lichidă, ele se comportă ca nişte ace de busolă miniaturale. Polii pozitivi ale acestor granule magnetizate indică spre polul negativ al marelui manget terestru.

Când roca fierbite topită – magmă sau lavă – se răceşte şi se solidifică, cristalele de magnetită din lava care se răceşte sunt aliniate cu direcţia câmpului magnetic din acel moment. Un proces similar are loc când sedimentele se cimentează sau se transformă dintr-un mâl umed în rocă solidă: solidificarea blochează particulele aliniate magnetic. Dacă ele sunt în cantitate suficientă, oferă rocii care le conţine un semnal magnetic.

Dacă este cunoscută orientarea exactă a rocii, prin prelevarea unei bucăţi din rocă şi ducerea ei la laborator, se poate stabili direcţia actuală a câmpului magnetic al Pământului la formarea rocii. Acest lucru va arăta dacă roca respectivă s-a format în timpul unei perioade când polul nord al Pământului coincidea cu polul pozitiv al magnetului Pământului sau invers.

SURPRIZE ERATICE

Inversarea magnetică a înregistrărilor descoperite în straturile groase de calcar din Italia a dezvăluit mai multe surprize. Prima şi cea mai însemnată descoperire era aceea că, timp de peste jumătate din cei 60 de milioane de ani ai perioadei cretacice, nu existaseră deloc inversiuni magnetice. Până la această descoperire, s-a presupus că ritmul inversiunilor magnetice era oarecum constant, cu o inversiune aproximativ la fiecare jumătate de milion de ani. Dar, din motive care sunt încă neclare, mecanismul care crea inversiuni ale câmpului intra uneori „în vacanţă". De la circa 118 milioane la 83 de milioane de ani în urmă, câmpul magnetic a rămas blocat la polaritatea normală.

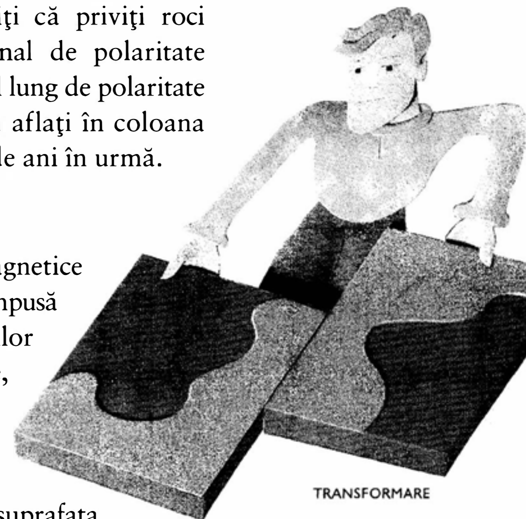
Acest interval lung face inutilă datarea magneto-stratigrafică. Totuşi, face ca prima inversiune după intervalul lung să fie cea mai uşor de recunoscut în întreaga coloană geologică. Oriunde pe Pământ, dacă ştiţi că priviţi roci formate în Cretacic, un semnal de polaritate inversată ce urmează un interval lung de polaritate normală indică precis unde vă aflaţi în coloana geologică – cu 83 de milioane de ani în urmă.

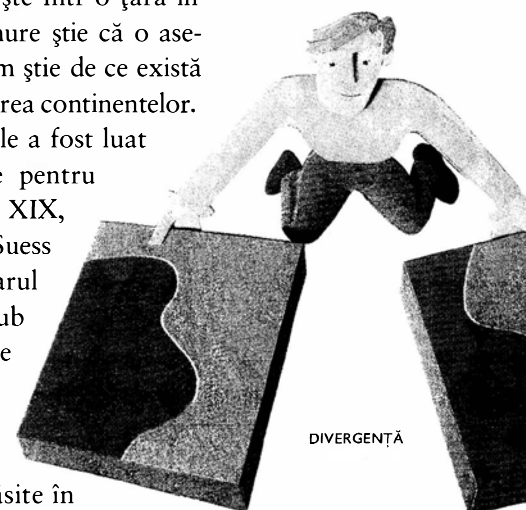
DERIVA CONTINENTELOR

Prelevarea probelor paleomagnetice din Apeninii italieni a fost impusă de o cercetare asupra deplasărilor crustei terestre – deplasări care, până recent, au fost negate de multe autorităţi eminente, fiind considerate erezii ştiinţifice. Ce putea fi mai stabil decât suprafaţa Pământului? Însă oricine trăieşte într-o ţară în care se produc frecvent cutremure ştie că o asemenea idee este greşită, aşa cum ştie de ce există cutremure. Motivul este deplasarea continentelor.

Conceptul derivei continentale a fost luat în mod serios în considerare pentru prima dată la sfârşitul secolului XIX, când geologul austriac Eduard Suess a sugerat că Africa, Madagascarul şi India au fost cândva unite sub forma unei singure bucăţi de uscat, pe care a denumit-o Gondwanaland. Suess şi-a bazat propunerea pe similarităţile din tipurile de roci găsite în cele trei zone. Suess nu era un şarlatan sau un excentric, iar în curând câţiva alţi geologi au început să ia în considerare posibilitatea existenţei unui supercontinent în Emisfera Sudică în timpul ultimei părţi a Paleozoicului şi la începutul Mezozoicului.







SUS **Plăcile tectonice se lovesc una de alta (converg) sau glisează pe orizontală una peste alta (se transformă) sau se îndepărtează (diverg).**



Platoul submarin al Pacificului glisează spre nord sub coasta Alaskăi, ducând cu ea California în această mişcare.

O falie ce se întinde în jos, în centrul Oceanului Atlantic îndepărtează America şi Lumea Veche tot mai mult în fiecare an.

Pe măsură ce înaintează sub partea de vest a Americii de Sud, platoul Pacificului se scufundă într-o falie oceanică adâncă şi încreţeşte marginea continentului în maiestuoşii Anzi.

Creată de vulcanii care formează Inelul de Foc al Pacificului, Japonia este zguduită constant de cutremure, deorece Pacificul îşi forţează limitele.

Ciocnirea dintre India şi Asia a creat vasta zonă de încreţire a înălţimilor din Himalaya şi Tibet, unde scoarţa este mai groasă decât oriunde pe Pământ.

Întreaga Australasie a derivat pe glob, purtând cu ea animale ciudate, care au evoluat mai întâi când Australia era lipită de America de Sud şi de Antarctica.

SUS **Scoarţa terestră este un aranjament complex de plăci tectonice curbe, precum peticele unei mingi de fotbal. Unele plăci se îndepărtează, iar în spaţiile libere se formează altă scoarţă. Alte plăci se ciocnesc unele de altele, ridicând astfel mari lanţuri muntoase punctate de vulcani.**

O IPOTEZĂ SCANDALOASĂ

Variatele curente de idei care susţineau conceptul unui vechi supercontinent sudic au fost adunate laolaltă într-o carte remarcabilă, publicată de meteorologul german Alfred Wegener în anul 1912. Wegener era convins că marea similaritate a liniilor de coastă dintre Africa de Vest şi partea estică a Americii de Sud nu erau o coincidenţă. El a adunat informaţii paleontologice şi geologice pentru a-i susţine cauza. Dar această carte a fost imediat primită cu criticism deoarece nimeni nu putea propune un mecanism convingător pentru o asemenea derivă a continentelor. Exista şi o mare cantitate de ostilitate din partea geologilor profesionişti, care aveau impresia că Wegener – un meteorolog – le încălca teritoriul profesional.



SUS **Examinând liniile de coastă ale Africii de Sud şi cele estice ale Americii de Sud – şi potrivindu-le asemenea pieselor de puzzle – Wegener a tras concluzia că puteau să fi făcut parte cândva dintr-un supercontinent.**

La începutul anilor 1900, un tânăr geolog din Africa de Sud, numit Alexander Du Toit a început să cutreiere Africa de Sud, petrecând 20 de ani cu examinarea structurilor de rocă, cartografiind suprafeţe întinse de teritoriu şi, în acest timp, adunând mari cantităţi de informaţii în memoria sa enciclopedică. Du Toit a înţeles curând că ipoteza uimitoare a lui Wegener explica multe dintre caracteristicile geologice ale Africii de Sud, iar în anul 1921 a publicat primul articol privind posibilitatea alunecărilor continentale.

Geologii au fost mult timp derutaţi în privinţa originii munţilor care mărgineau linia de coastă a Africii de Sud. Du Toit a înţeles că răspunsul era comprimarea prin coliziune a continentelor: el a avut viziunea Africii de Sud prinse într-o menghină monstruoasă, între America de Sud şi Antarctica. Du Toit a putut să viziteze alte continente sudice, în care a observat succesiuni de roci remarcabil de similare. Tipurile de roci nu numai că erau aceleaşi: cel mai puternic argument era că prezentau un model similar de aşezare a straturilor – acelaşi model stratigrafic.

S-a dovedit că Wegener şi Du Toit aveau dreptate. Dar, ca şi Vincent van Gogh, care nu a trăit să-şi vadă geniul recunoscut, nici Wegener nici Du Toit nu au trăit destul de mult pentru a vedea marele triumf al confirmării observaţiilor şi raţionamentelor lor. Wegener a murit în timp ce înecerca să traverseze gheţurile Groenlandei, în anul 1930. Dovada derivei continentelor nu s-a înscris în conştiinţa ştiinţifică până la începutul anilor 1960, când câteva studii au distrus teoria unui Pământ static care se rostogoleşte în dezordine. Acum ştim că nu numai continentele, ci întreaga suprafaţă a Pământului se află în mişcare.

DOVEZILE LUI DU TOIT

Du Toit a mers mult mai departe decât Wegener în cunoştinţele despre Gondwanaland. Examinând stratigrafia din mai multe continente, a putut să reconstruiască şi prima uniune a diferitelor piese continentale şi combinarea lor climatică într-un singur supercontinent, la sfârşitul Erei Paleozoice. El a reconstruit şi fragmentarea lor din timpul erelor Mezozoică şi Cenozoică ce au urmat. Poate argumentul său cel mai elocvent a fost demonstraţia similarităţii remarcabile dintre secvenţele de rocă ale Paleozoicului din variatele piese continentale. În fiecare dintre ele, a văzut o unitate de bază de argile eratice glaciare (roci cu granulaţie mare, formate din sfărâmături glaciare), acoperite de marne conţinând fosilele unei mici reptile acvatice denumite mezozaur. Marnele erau urmate de depozite deltaice şi de râu, iar în final de bazalt din Mezozoic. A numit această succesiune sistemul Gondwana, numit azi secvenţa Gondwana.

TECTONICA PLĂCILOR

Mai întâi, studiile asupra magnetismul rocilor au arătat că în timp s-a schimbat fie poziţia polului nord magnetic, fie cea a continentelor. Ambele variante păreau în egală măsură imposibile. Dar apoi s-a demonstrat că lanţul de munţi submarini denumiţi Lanţul Central Atlantic a fost un lanţ liniar de vulcani activi, creând în mod constant un nou platou oceanic. În continuare, un program de foraj marin la mare adâncime a demonstrat că vârsta platoului oceanic a crescut cu distanţa faţă de centrele de erupţie. Această descoperire a arătat că platoul oceanului se întinde, în multe cazuri ducând cu el continentele.

Dar unde se duce acest nou platou oceanic? Studiile seismice au arătat că în multe locuri crusta oceanică se scufundă în Pământul însuşi, de-a lungul zonelor de subducţie care sunt asociate cu lanţurile muntoase şi cu vulcanii activi. Deci în câţiva ani se produsese o revoluţie ştiinţifică. Acum ştim cu toţii că într-adevăr continentele au derivat şi încă se mai află în derivă. Asta se întâmplă deoarece plutesc.

Toate continentele sunt mase de rocă de densitate relativ redusă, înglobate într-o masă mai densă de material. În principiu, ele plutesc pe un pat subţire de bazalt care formează fundul oceanelor. Savanţilor care studiază Pământul le place să folosească o comparaţie cu ceapa; foiţa subţire, uscată şi fragilă de ceapă poate fi considerată ca fiind crusta oceanului, stând deasupra unui glob concentric alcătuit dintr-un material de densitate mai mare şi mai lichid. Continentele sunt asemenea pete din materiale uşor diferite, încorporate în foiţa de ceapă.

Totuşi, spre deosebire de o ceapă, Pământul are un miez radioactiv, care generează constant mari cantităţi de căldură, în timp ce mineralele radioactive, îngropate adânc în interiorul său, se descompun în diferite produse-copil. Pe măsură ce această căldură se ridică spre suprafaţă, creează celule de convecţie gigantice de rocă fierbinte şi fluidă în manta, stratul gros de material aşezat chiar sub scoarţa Pământului.

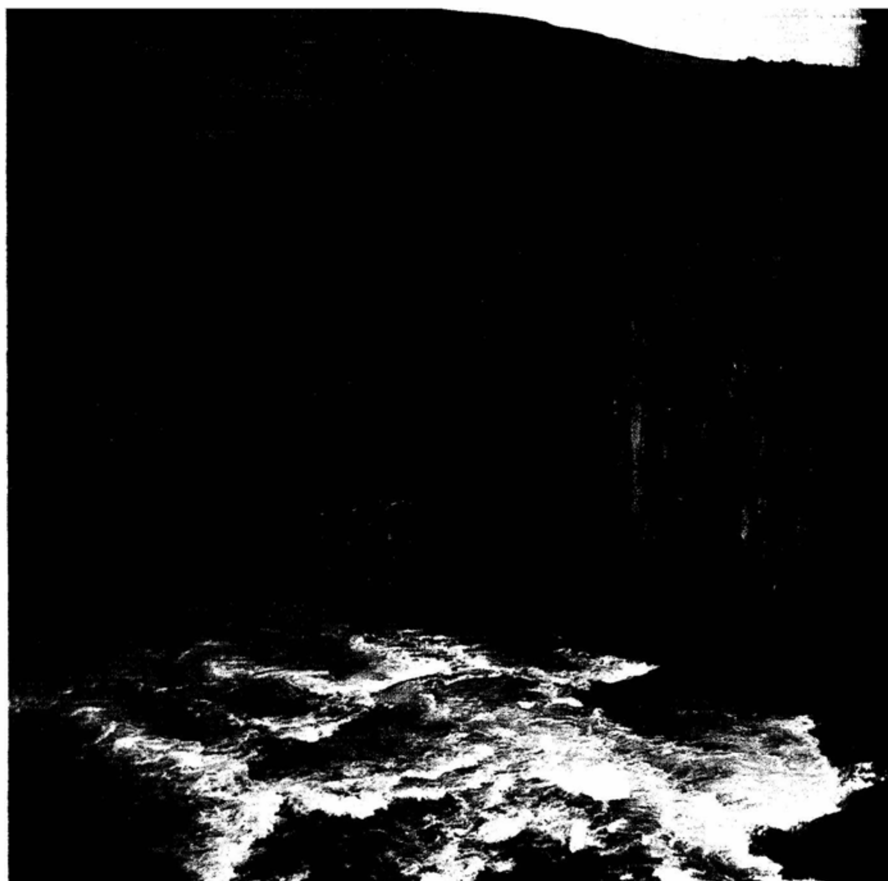
Ca şi magiunul care fierbe, partea superioară vâscoasă a mantalei se ridică, se deplasează pe distanţe mari în paralel cu suprafaţa Pământului (pierzând căldură în acest timp) şi apoi, mult mai rece, se aşează în adâncimile Pământului. Aceste celule de convecţie duc cu ele stratul exterior subţire şi fragil al Pământului sub formă de plăci de rocă ale scoarţei. Unele dintre aceste plăci sunt compuse numai din pat oceanic, dar altele poartă continente sau mase mai mici de uscat prinse în deplasarea foii exterioare. Acest proces, denumit tectonica plăcilor, este una dintre teoriile cele mai unificatoare formulate prin metode ştiinţifice.

JOS **Teoria tectonică arată că suprafaţa Pământului nu este atât de solidă pe cât se credea cândva. De fapt, este fragmentată în circa 20 plăci gigantice de rocă, aflate în continuă derivă.**

Rift Valley se întinde pe uscat de la nordul către estul Mediteranei, iar la Marea Moartă mari bucăţi de scoarţă terestră au rămas în mantaua de dedesubt.

Arabia se îndepărtează de Africa pe o placă tectonică separată, în timp ce rocile topite ies la suprafaţă sub Djibouti pentru a umple locul gol.

Falia pare să fie trasată de-a lungul lacurilor prelungi din Africa de Est, către gura de vărsare a râului Zambezi.



ACREŢIA CONTINENTELOR

normele plăci ale scoarţei terestre pot interacţiona cu alte plăci tectonice numai în trei moduri: se pot ciocni, se pot distanţa sau pot aluneca una pe lângă alta. Primele două moduri – divergenţa plăcilor în centrele de erupţie de pe culmile muntoase oceanice şi convergenţa lor în zone de subducţie – au fost subiectul valului de cercetări în premieră asupra plăcilor tectonice, care a demonstrat existenţa derivei continentelor. Însă al treilea mod, mişcările de glisare ale marginilor plăcilor, este la fel de important.

Falia San Andreas din California este poate cel mai bun exemplu de mişcare de alunecare. Falia San Andreas se mişcă de milioane de ani, iar scoarţa subţire din California, pe partea dinspre Pacific a faliei, se târăşte spre nord, cutremur după cutremur, şi separă unităţile de rocă ce erau cândva unite.

CIOCNIRILE CONTINENTELOR

iocnirea a două continente este un proces lent şi maiestuos. Deoarece ele se deplasează numai cu câţiva centimetri pe an, mii de vieţi omeneşti trebuie să treacă înainte ca vreo schimbare de poziţie să devină evidentă. Dar continentele convergente se apropie inexorabil, iar până la urmă se ciocnesc.

Primul contact între platourile continentale are puţine efecte. Dar pe măsură ce cele două blocuri de scoarţă continentală se unesc, enorme forţe de compresiune acţionează asupra marginilor continentale până când regiunile lor exterioare se lipesc. Încep să se formeze munţi, adesea presăraţi cu vulcani care împrăştie lavă şi cenuşă asupra masei contorsionate de rocă şi sedimente, care fusese cândva o coastă liniştită a unei plaje albe cu nisip.

În final, cele două continente ajung la un nivel la care nu mai pot fi comprimate. Lent, un continent începe să alunece peste celălalt, adesea dublând grosimea scoarţei la marginile implicate în proces. Apoi, incapabile de a mai ceda teren, rămân blocate astfel împreună.

Un exemplu relativ recent şi dramatic ale acestui proces uimitor este ciocnirea dintre India şi Asia. Cu patruzeci de milioane de ani în urmă, India era un mic fugar din vechiul supercontinent Gondwana, fugind către nord din Emisfera Sudică, unde se aflase până când s-a ciocnit de uscaturile Asiei. Marginea continentului indian s-a urcat pe uscatul asiatic creând munţii Himalaya, regiunea cu scoarţa continentală cea mai groasă de pe Pământ.

Falia San Andreas şi traiectoriile celor două mase de rocă pe care le separă oferă şi un exemplu excelent asupra numărului marginilor continentale care pot interacţiona. Una dintre marile descoperiri ale modelului derivei continentale este următoarea: continentele nu numai că se rostogolesc pe suprafaţa globului asemenea unor lugubre maşinuţe buşitoare, ciocnindu-se alternativ unul de altul şi îndepărtându-se unul de altul, ci şi cresc prin procese tectonice. Mici porţiuni ale altor mase de uscat – precum insulele sau bucăţi din alte continente – se deplasează în largul marginilor continentelor mai mari, se unesc cu ele în lungi eoni de timp şi le măresc inexorabil, într-un proces denumit acreţie tectonică.

Tectonica plăcilor ne-a oferit o vedere generală asupra modului în care cele mai mari bucăţi de scoarţă terestră au interacţionat de-a lungul timpului. Acreţia tectonică ne dă informaţii despre ansamblurile continentale – sau aşa ar trebui. Dar, din păcate, întregul subiect este dificil de studiat, mai ales când este vorba despre înţelegerea formării lanţurilor muntoase. Deoarece munţii sunt compuşi din roci înghesuite şi sfărâmate, îndoite şi încălzite, presurizate şi ridicate, sunt de obicei impenetrabili la simpla analiză structurală. Pe scurt, trauma formării munţilor distruge dovezile.



SUS **Islanda este unul dintre puţinele locuri în care un lanţ vulcanic marin este vizibil deasupra nivelului mării. Presărată cu vulcani, insula este aproape integral alcătuită din lavă bazaltică, ce se fracturează adesea în coloane în timp ce se răceşte.**

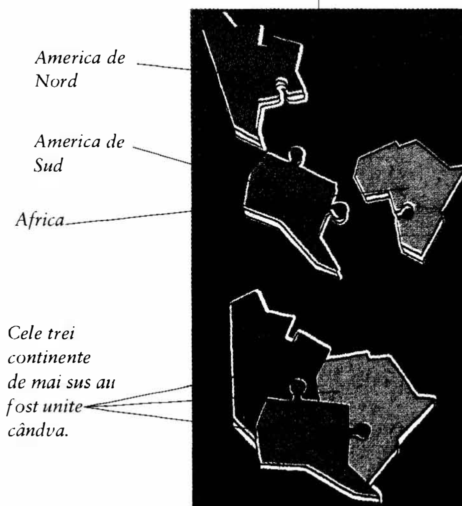
Când munţii s-au format numai în urma unui proces sau a două procese – precum compresia sau extensia, sau chiar prin formarea vulcanilor înalţi – este destul de uşor de stabilit ce anume s-a întâmplat. Dar când asemenea procese sunt combinate cu acreţia, lucrurile devin mult mai complexe.

Azi, aspectele cele mai intens cercetate ale derivei continentale se referă la astfel de coliziuni între continente şi micile fragmente de scoarţă terestră. Aceste bucăţi de uscat efemere şi active sunt numite terrane.

FRAGMENTE MOBILE

Terranele – chiar şi cele neobişnuite – pot fi fragmente de continente compuse din vechi roci sedimentare şi poate din granituri şi vechi roci metamorfice. Altele sunt fragmente ale arcurilor de insule vulcanice care se formează de-a lungul marginilor distructive dintre plăcile oceanice şi sunt alcătuite din lavă şi din sedimente acumulate.

În orice caz, rocile acumulate sunt plutitoare relativ la scoarţa oceanică densă, astfel că plutesc pe materialul mai greu. Purtate de toată suprafaţa globului de către plăcile mobile, mai devreme sau mai târziu se vor ciocni de alte fragmente de scoarţă plutitoare sau chiar de mase mai mari de uscat.



SUS **Continentele America de Nord, America de Sud şi Africa se pot îmbina ca piesele unui puzzle gigant – deoarece au fost cândva o singură piesă.**

HAOSUL TECTONIC

Cele mai multe plăci tectonice sunt enorme, acoperind părţi semnificative ale scoarţei terestre. Motivul pentru care trebuie să existe atât de puţine plăci care alcătuiesc suprafaţa Pământului este unul dintre cele mai mari mistere geologice. America de Nord, de exemplu, deşi este gigantică în sine, este formată dintr-o singură placă, ce include şi jumătate din Atlanticul de Nord. Placa ce alcătuieşte cea mai mare parte din vastul Ocean Pacific este şi mai mare. Dar între aceste enormităţi sunt presărate plăci mai mici, sau microplăci. Când interacţionează microplăcile şi plăcile mai mari, se pot produce evenimente geologice foarte complexe.

Să luăm de exemplu regiunea din jurul Indoneziei. Ea stă pe o microplacă strânsă între alte trei plăci enorme: placa indo-australiană, cea a Pacificului şi cea a Eurasiei. Australia se deplasează către nord, înghesuind lent întreaga miriadă de insule din jurul Indoneziei în Asia în cursul acestui proces.

Rezultatul este haosul geologic: ciocnirea zdrobeşte lanţuri de insule vulcanice, bazine pline de sedimente, părţi de margini continentale, munţi oceanici şi scoarţă oceanică tânără în acelaşi blender geologic. Fiecare dintre aceste unităţi este compusă din propriul tip de rocă, iar pe măsură ce se zdrobesc şi se amestecă laolaltă formează o dezordine încâlcită. Unele părţi se ridică, altele sunt presate şi acoperite; apar munţi noi, iar lanţurile de munţi existente sunt distruse. Geologii viitorului vor avea o viaţă grea, peste 50 de milioane de ani, încercând să deducă secvenţa evenimentelor. Dar un asemenea haos tectonic pare să fi format Coasta de Vest a Americii de Nord, acum 50-100 de milioane de ani, iar geologii de azi au şi ei o misiune grea încercând să stabilească exact ce s-a întâmplat.

MARCAJE ALE LATITUDINII MAGNETICE

O rocă ce conţine informaţii paleomagnetice poate dezvălui mai mult decât polaritatea câmpului magnetic din momentul formării ei. Dacă este cunocută orientarea originală a rocii – care de obicei este orizontală în cazul unei roci sedimentare – atunci diferenţa dintre orientarea rocii şi orientarea verticală a micro-magneţilor din rocă poate indica latitudinea la care s-a format roca.

Imaginaţi-vă o busolă întoarsă pe o parte, astfel încât acul ei să se legene ca un scrânciob. Dacă acul busolei este susţinut destul de bine, se va alinia cu câmpul magnetic al Pământului. Asta înseamnă că, la Polul Nord, capătul „nord" al acului busolei va indica în jos, în timp ce la Ecuator acul se va aşeza perfect orizontal. La toate punctele intermediare, acul se va aşeza sub un unghi care creşte cu latitudinea, numit înclinaţie magnetică.

Micro-magneţii din rocă se comportă la fel. Măsurând înclinaţia magnetică, un cercetător poate stabili latitudinea la care au îngheţat în rocă – dar numai dacă este cunoscută orientarea originală a rocii.

JOS **Micile particule magnetice îngheţate în roci la formarea acestora dezvăluie informaţii remarcabile asupra schimbărilor petrecute în trecut la suprafaţa Pământului, indicând nu numai direcţia Polului Nord din acel moment, ci şi latitudinea rocii.**



POLI RĂTĂCITORI?

Urmărirea mişcărilor unor asemenea fragmente mobile nu este uşoară, dar unul dintre cele mai utile instrumente este derivat din studiul magnetismului rocilor. Toate rocile vulcanice sau sedimentare care se solidifică pentru prima dată conţin de obicei mici magneţi care pot oferi informaţii despre polaritatea Pământului la momentul formării rocii. Dar ei pot dezvălui mai multe informaţii. Ei pot da şi orientarea precisă a câmpului geomagnetic, ea însăşi dictată de latitudine. Cu alte cuvinte, pot arăta unde s-a format roca.

Aceste două informaţii devin dovezi cruciale ale derivei continentale. Miezurile magnetice din diferite continente par să indice direcţii foarte diferite ale vechilor poli magnetici. Miezuri succesiv mai vechi sugerează şi ele că poziţia polului nord magnetic a migrat. Răspunsul, desigur, era acela că înseşi continentele erau rătăcitoare, iar studiile paleomagnetice pot oferi povestea detaliată a acestei migraţii.

Acesta este avantajul analizei paleomagnetice. Dezavantajul este acela că dacă rocile au fost reîncălzite, rezultatele sunt greşite. Din păcate, nu există niciodată un semn uşor de observat al unei eventuale reîncălziri. Mai mult, „resetarea" granulelor minerale magnetice se petrece cel mai frecvent în regiunile muntoase ale Pământului, unde încălzirile şi presiunile ridicate sunt cele mai intense – chiar în regiunile care conţin variatele aşchii şi cioburi de scoarţă formate prin coliziunile continentelor şi terranelor.

INTERACŢIUNI COMPLEXE

Confuzia creată de asemenea probleme a dus la o serie de dispute asupra formării părţii de vest a Americii de Nord: până în prezent, una dintre cele mai misterioase regiuni continentale supuse studiului amănunţit. De la Alaska în partea de nord, la sudul Mexicului în sud, aproape întreaga margine de vest a Americii de Nord este muntoasă. Cum s-au format aceşti munţi? Au fost numai rezultatul subducţiei, în care crusta oceanică se scufundă sub o margine continentală, topind-o şi creând astfel un lanţ de vulcani?



SUS **La ora 5:12 a.m. în 18 aprilie 1906, o secțiune a faliei San Andreas s-a desprins lângă San Francisco, California. În Marin County, la nord de oraș, stâncile de pe latura dinspre Pacific a faliei s-au deplasat cu peste șase metri către nord în 40 de secunde.**

Există cu siguranţă mulţi vulcani de-a lungul lanţului muntos, iar la începutul anilor 1960, când au fost descifrate mişcările crustei oceanice, a devenit clar că mulţi dintre munţi au fost într-adevăr creaţi prin subducţie. Înalţii vulcani Cascade din nord-vestul coastei Pacificului sunt un exemplu excelent. Însă la fel de clar este faptul că acest contact distructiv al plăcilor – ce creează zone de subducţie – nu a fost singurul tip de interacţiune a plăcilor care se defăşura şi că au avut loc şi alte procese de formare a munţilor. Poate nicăieri nu sunt acestea mai bine studiate decât în California.

California este un teritoriu al cutremurelor. Cutremurele se produc atunci când se deplasează rocile. Cele mai multe cutremure din California pot fi atribuite celui de-al doilea tip de mişcare placă pe placă, în care marginile plăcii alunecă una peste alta. Denumite falii verticale (strike slip), aceste tipuri de mişcare fac ca porţiunile vestice ale Golden State să se deplaseze către nord. Această mişcare va continua până când variatele fragmente intră în altă parte a continentului. Când se va întâmpla acest lucru, se va fi schimbat din nou forma Americii de Nord, prin procesul de acreţie continentală.

ALUNECARE SPRE NORD

Acum pare probabil ca o mare parte din partea de vest a Americii de Nord să fi fost creată chiar prin asemenea coliziuni cu mase de uscat mai mici, formând astfel munţi. Noi suntem martorii începerii unuia dintre aceste episoade. În următoarele câteva milioane de ani, San Francisco şi lunga fâşie de uscat pe care se află vor părăsi America de Nord pentru a deveni o lungă linie de frontieră la vestul continentului, creând astfel o mare interioară. În final, se va ciocni din nou cu America de Nord, iar acesta pare să fie modelul comportării tectonice al întregii zone în următoarele câteva sute de milioane de ani.

Dacă este adevărat, atunci de unde au venit masele de uscat? Savanţii au început să se întrebe dacă nu cumva o mare parte din coasta de vest a Americii de Nord s-a format departe în sud, apoi s-a unit cu continentul. La începutul anilor 1970, echipe din Canada şi din Statele Unite au început să preleveze variate corpuri de rocă pentru a testa aceste idei din punctul de vedere al paleomagnetismului. Datele aveau să devină arma principală într-un război dintre geofizicieni şi mulţi geologi, care credeau că modelele de tectonica plăcilor care impuneau transportul corpurilor de rocă pe distanţe imense nu erau necesare pentru a explica geologia părţii de vest a Americii de Nord.



O ALIANŢĂ INCOMODĂ

A existat mult timp o alianţă incomodă între cei doi piloni ai ştiinţelor care studiază Pământul: geologia şi geofizica. În cel mai simplu sens, geologia se ocupă de momentul în care au apărut formaţiunile observabile de la suprafaţa şi din interiorul Pământului; geofizica este preocupată în principal de forţele fizice care le-au format. Deci geologia este mai preocupată de timp, iar geofizica de procese. Cele două domenii de studiu se inspiră unul din altul, iar distincţia dintre ele este oricum, dar nu clară. Cu toate acestea, în timp ce geologii şi geofizicienii lucrează de obicei împreună, s-au situat adesea în tabere adverse, în dezbateri vehemente. Două exemple principale ale acestei lupte ştiinţifice se referă la dezbaterile asupra celor mai importante probleme cu care s-au confruntat ştiinţele geologice: vârsta Pământului şi conceptul de derivă a continentelor.

Cu privire la vârsta Pământului, marele lord Kelvin, părintele geofizicii, s-a înşelat categoric (ca şi adepţii săi). Aceste erori i-au indus în eroare pe mulţi savanţi, timp de decenii. Geofizicienii au făcut o gafă monumentală similară, când a fost enunţată prima dată teoria derivei continentale, în prima jumătate a secolului XX, deoarece nu puteau concepe că era posibil ca asemenea blocuri uriaşe de materie să poată naviga prin marile bazine oceanice. Geologii au adus o mulţime de dovezi, însă geofizicienii şi-au menţinut cu fermitate opoziţia faţă de această idee şi, la fel ca şi în cazul atitudinii lor privind vârsta rocilor, au ţinut în loc progresul ştiinţific timp de decenii.

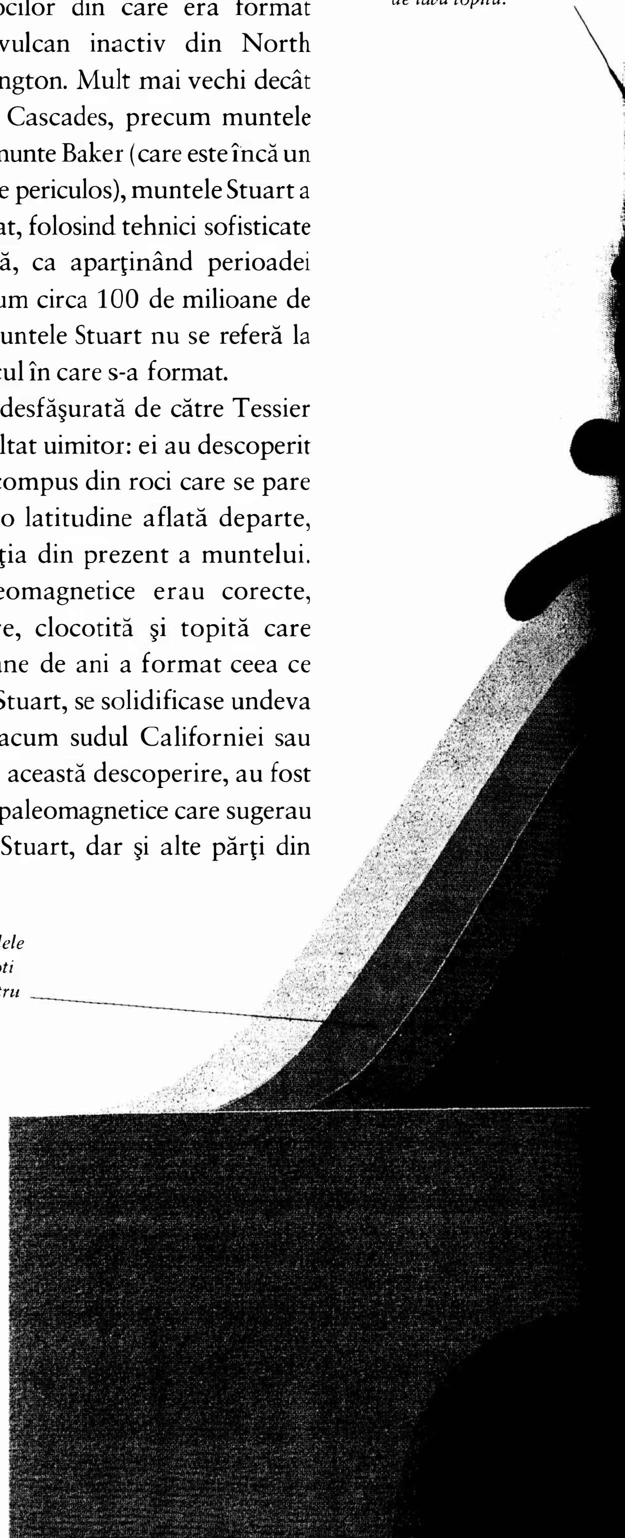
Dar în ultima vreme, lucrurile s-au inversat. Acum, în multe privinţe, geologia este cea care se încăpăţânează, iar geofizica este cea îngrijorată de întârziere. Controversa priveşte rolul terranelor în acreţia continentelor, în special în privinţa formării părţii de vest a Americii de Nord. Geofizicienii credeau că au dovezi, însă geologii nu erau convinşi. Într-adevăr, este vorba despre o alianţă incomodă.



CASCADA CONTROVERSELOR

Prima salvă a războiului a fost trasă în anul 1971, când R. Tessier şi M. Beck de la Western Washington State University au publicat datele paleomagnetice ale rocilor din care era format muntele Stuart, un vulcan inactiv din North Cascades, statul Washington. Mult mai vechi decât vulcanii mai mari din Cascades, precum muntele Rainier sau apropiatul munte Baker (care este încă un vulcan activ şi extrem de periculos), muntele Stuart a fost datat în mod repetat, folosind tehnici sofisticate de datare radiometrică, ca aparţinând perioadei Cretacicului mediu, acum circa 100 de milioane de ani. Disputa privind muntele Stuart nu se referă la vârsta acestuia, ci la locul în care s-a format.

Munca de pionierat desfăşurată de către Tessier şi Beck a dus la un rezultat uimitor: ei au descoperit că muntele Stuart era compus din roci care se pare că se solidificaseră la o latitudine aflată departe, spre sud, faţă de poziţia din prezent a muntelui. Dacă rezultatele paleomagnetice erau corecte, magma bolborositoare, clocotită şi topită care acum o sută de milioane de ani a format ceea ce acum numim muntele Stuart, se solidificase undeva departe, unde se află acum sudul Californiei sau Mexicul. Curând după această descoperire, au fost publicate alte rezultate paleomagnetice care sugerau că nu numai muntele Stuart, dar şi alte părţi din



Norul gros emanat la erupţia vulcanilor este un amestec de fum, fragmente de rocă aruncate de explozie şi bulgări fierbinţi de lavă topită.

În timp ce lava este încă fierbinte şi topită, particulele magnetice din ea se pot roti ca şi acul unei busole pentru a indica nordul.

DREAPTA **Un vulcan dus departe de sursa sa de lavă prin deplasarea plăcii tectonice este ca un robinet care nu mai este conectat la instalaţia de ţevi. Roca topită se răceşte şi se întăreşte când iese la suprafaţă, iar vulcanul devine inactiv. Ceva similar trebuie să se fi petrecut cu muntele Stuart în timp ce era dus spre nord faţă de poziţia sa originală de lângă Mexic.**

Roca topită denumită lavă, ce curgea din vulcan, va furniza indicii importante despre istoria Pământului.

nord-vestul statului Washington şi din sudul statului British Columbia s-au format tot la latitudini mai mici. Dacă era aşa, atunci fiecare dintre aceste corpuri de rocă trebuie să fi călătorit între 2000 şi 3000 de kilometri de la sud. Dar este vorba despre mai mult decât un simplu transport. Toate corpurile de rocă au fost şi rotite cu circa 70 de grade – ca şi cum o mână gigantică ar fi apucat uscatul şi l-ar întors spre dreapta.

Dar era oare corectă această interpretare? Era posibil ca variatele roci vulcanice examinate de specialiştii în paleomagnetică să dea asemenea rezultate dacă nu ar fi fost transportate? Da, au răspuns mulţi geologi. Exact aceste rezultate ar fi fost aşteptate dacă variatele mostre de roci ar fi fost înclinate, nu transportate.

O rocă este mult mai uşor de înclinat decât de transportat. Înclinările se produc tot timpul – trebuie numai să priviţi orice lanţ muntos şi veţi observa că rocile se află în toate orientările imaginabile, inclusiv cu susul în jos. Interpretările paleomagnetice s-au bazat pe posibilitatea de a recunoaşte orientarea originală a mostrelor de rocă prelevate. Acesta este un argument-cheie folosit de către criticii studiilor paleomagnetice: mostrele de rocă prelevate nu erau orizontale, de aceea rezultatele erau considerate eronate.

După ce lava s-a răcit şi s-a solidificat, particulele magnetice sunt blocate pentru totdeauna în aceeaşi direcţie – numai roca se poate deplasa.

Rocile cristaline prin care erupe un vulcan sunt considerabil mai vechi decât roca vulcanică formată la suprafaţă de lava care se răceşte.

Magma topită care furnizează lava unui vulcan se adună într-o vastă cameră subterană chiar înainte de erupţie.

Aşa a început controversa, opunându-i pe cei ce susţineau teoria derivei continentelor celor care credeau că variatele părţi care alcătuiesc acum lanţul de vest al Cordilierilor au fost asamblate prin deriva continentală, „fixiştilor“, care credeau că nu avusese loc o asemenea asamblare. La început, fixiştii nu aveau îndoieli asupra validităţii derivei continentelor – ci doar credeau că multe dintre teoriile derivei continentale care se refereau la partea de vest a Statelor Unite şi a Canadei erau doar plăsmuiri ale imaginaţiei surescitate a geofizicienilor. Apoi, în anul 1977, a fost publicat un studiu care definea şi identifica cea mai mare terrană: Wrangellia.

O SUPERTERRANĂ

Definiţia Wrangelliei, denumită după munţii Wrangell din Alaska, a fost din mai multe motive un moment de cumpănă din studiul plăcilor tectonice. În primul rând, studiul a fost publicat de către trei geologi cu experienţă şi foarte respectaţi – David Jones, Norm Silberling şi John Hillhouse. Apoi, până atunci se crezuse că aproape toate terranele erau mici mase de uscat – cel mult de dimensiunea unei insule – însă terrana Wrangellia, aşa cum a fost definită iniţial, era enormă: o fâşie de teren care se întindea de la insula Vancouver în sud până la Alaska în nord. În final, au fost folosite şi devezile geologice şi cele paleomagnetice pentru a susţine ipoteza.

Terrana Wrangellia este compusă din bazalt din Triasic, care pare să se fi format în adâncul mării. Cu peste 200 de milioane de ani în urmă, o revărsare imensă de bazalt a erupt din marile fisuri submarine. Acest bazalt a continuat să bolborosească timp de multe milioane de ani, iar până la urmă s-a acumulat într-o masă de lavă întărită, cu multe mii de metri grosime. În final, la sfârşitul Triasicului, fisura s-a închis. Calcarul a început să se acumuleze deasupra lavei de sub mare, iar mediul submarin în care se forma calcarul a fost colonizat de primele creaturi din Mezozoic, printre care coralii şi multe specii de amoniţi. În cele din urmă, întregul complex s-a ridicat, formând o masă de uscat prelungă, liniară.

Şi paleontologii şi specialiştii în paleomagnetică au descoperit că Wrangellia călătorise mult mai departe decât Mount Stuart. Originile bazaltului din Wrangellia se aflau undeva în Emisfera Sudică. Întregul corp de rocă fusese dus spre nord prin deriva continentală, până când s-a ciocnit de coasta vestică a Americii de Nord.

Când a avut loc această coliziune titanică? La începutul anilor 1980, specialiştii în paleomagnetică au făcut studii extensive ale rocilor depuse în Eocen – la începutul Terţiarului – într-un loc din apropierea muntelui Stuart şi în altul la estul insulei Vancouver. În ambele regiuni se acumulaseră în apropierea zonelor muntoase straturi de gresie cu vechimea de 50 de milioane de ani, cu foarte mare grosime. Aceste roci sedimentare conţin rămăşiţele fosilizate ale palmierilor şi ale altor plante tropicale, sugerând că şi ele provin tot din regiuni mai sudice. Dar lumea din Eocen pare să fi fost mai caldă şi mai umedă decât în prezent, un loc în care pădurile tropicale puteau să fi existat chiar şi la latitudinea la care se află acum sudul zonei British Columbia. Rezultatele paleomagnetice au confirmat acest lucru: niciuna dintre gresiile din Eocen nu prezintă semnele derivei continentale. Astfel încât ele oferă limita superioară de timp a coliziunii Wrangelliei cu America de Nord – acum 50 de milioane de ani.



Ideea că această terrană lungă şi subţire s-ar fi izbit de America de Nord cândva la sfârşitul Mezozoicului abia îşi făcuse loc în manuale când, la mijlocul anilor 1980, s-a schimbat întreaga concepţie asupra Wrangelliei. Studiind rocile din British Columbia, Ted Irving, un specialist în paleomagnetică stabilit în insula Vancouver, a început să înţeleagă că mult mai mult decât insulele Vancouver şi Queen Charlotte – principalele două părţi ale terranei Wrangellia din Canada – se deplasaseră spre coastă. Era posibil să se fi deplasat ceva mult mai mare? În curând, Wrangellia a primit un nou nume: Superterrana Insulară. Ea cuprindea acum nu numai insulele Vancouver şi Queen Charlotte, ci şi toţi munţii de coastă din British Columbia. Se prefigura acum viziunea unei imense bucăţi de teritoriu – un subcontinent mare cât India, dar mai lung şi mai subţire – care se izbise şi încreţise linia de coastă. Irving a mai dat încă un nume acestei superterrane: Baja British Columbia, denumită după Baja California, latitudinea de la care el credea că venise cu mult timp în urmă. Întreaga idee a devenit cunoscută sub numele de ipoteza Baja British Columbia.

Pe măsură ce treceau anii 1980, chiar şi această nouă masă de uscat a devenit mai mare în minţile geofizicienilor. Acum, nu numai munţii de pe coastă şi insula Vancouver, dar şi regiunea intermontană – întreaga suită de munţi gigantici care alcătuiesc cea mai mare parte din British Columbia – au fost adăugate acestei combinaţii. Spre sfârşitul anilor 1980, nişte geologi de la Universitatea din Washington – Darrel Cowan şi studenţii săi, Paul Umhoefer, Mark Brandon şi John Garver – au rafinat modelul şi i-au pus o bază mai solidă efectuând studii de mişcare asupra modului în care mişcarea plăcilor ar fi putut produce acest eveniment. Conform studiilor, limita sudică a Baja British Columbia se află în insulele San Juan din nordul statului Washington, iar muntele Stuart, vechi de 100 de milioane de ani, pare să-şi fi primit semnalul magnetic undeva la latitudinea Mexicului – aşa cum sugeraseră Tessier şi Beck la începutul anilor 1970.

Ideea că o mare parte din British Columbia este de fapt o parte veche din Mexic nu ar trebui să ne surprindă, ştiind că plăcile mai mari ale scoarţei terestre au călătorit atât de departe în jurul globului. Însă o asemenea descoperire este o reamintire uimitoare că tectonica plăcilor este încă o idee tânără, având potenţialul de a ne schimba complet toate ideile preconcepute.

STÂNGA **Părţile Mexicului par să se fi deplasat spre nord timp de milioane de ani, unindu-se cu Canada. Aparenta improbabilitate a ideii a dus la ani întregi de controverse între savanţii care studiau Pământul.**

DREAPTA **Istoria vieţii pe Pământ este o glorioasă înflorire a formelor, evoluând prin selecţie naturală către o tot mai mare diversitate şi complexitate. Însă în timp ce multe dintre formele timpurii încă înfloresc în toată simplitatea lor elegantă, categorii întregi de vietăţi au fost anihilate de extincţiile în masă şi sunt cunoscute acum numai datorită rămăşiţelor lor fosile.**

EXTINCŢIILE ÎN MASĂ

Există probabil numai una dintre zonele ştiinţelor Pământului care este mai interesantă decât tectonica plăcilor, iar aceasta este paleontologia, sau studiul vieţii fosile. Două dintre cele mai interesante arii de cercetare din acest domeniu se ocupă de explozia vieţii din perioada Cambrianului – perioada de acum 550-500 de milioane de ani, când au apărut animalele – şi de interesantul fenomen al extincţiilor în masă.

Extincţiile în masă sunt catastrofe globale care şterg de pe faţa Pământului numeroase specii vii. O extincţie în masă se poate produce foarte repede sau poate dura între o mie şi un milion de ani. Au existat circa 15 asemenea evenimente în timpul ultimelor 500 de milioane de ani ale istoriei Pământului. Cinci dintre acestea sunt considerate majore, în sensul că au provocat dispariţia a peste jumătate din toate speciile existente.

Cu circa 250 de milioane de ani în urmă, extincţia în masă permo-triasică aproape că a distrus o lume terestră stăpânită de aşa numitele reptile asemănătoare mamiferelor. Această extincţie pare să fi fost cauzată de un episod subit de efect de seră la scară globală. Plantele şi animalele distruse astfel au fost urmate de un ecosistem dominat de un grup total diferit de reptile: dinozaurii.



Era cenozoică a fost martora dezvoltării mamiferelor şi a păsărilor – animale cu sânge cald, care pot supravieţui în climate dure.

Acum se crede că extincţia din Cretacic-Terţiar care a eliminat dinozaurii a fost cauzată de o cometă care a lovit Pământul.

Unora le place să creadă că suntem piscul evoluţiei, dar procesul evolutiv nu are scopuri clare, nici direcţie precisă.

Era mezozoică a aparţinut reptilelor, ca pterozaurii şi dinozaurii.

Extincţia permo-triasică, ce marchează finalul erei paleozoice, a avut impact mai ales asupra vieţii marine, eliminând animale precum trilobiţii.

Era paleozoică a fost martora dezvoltării unei mulţimi de forme de viaţă care au supravieţuit marilor extincţii, probabil datorită relativei lor simplităţi.

Iată prăbuşirea celor puternici: după ce dominaseră planeta timp de 150 de milioane de ani, dinozaurii au fost şterşi de faţa pământului de un accident cosmic care însă a cruţat primele mamifere de la picioarele dinozaurilor.

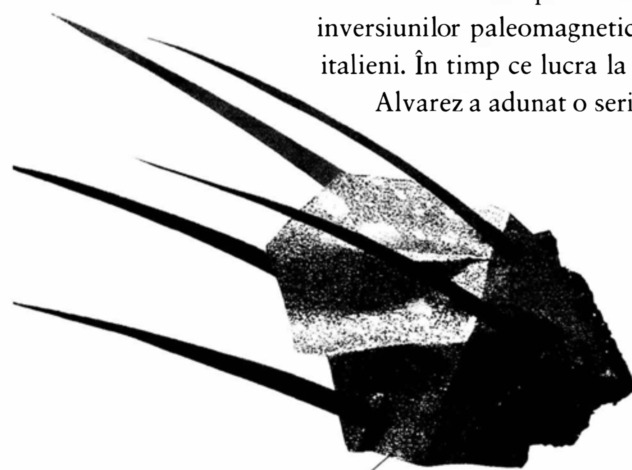


Dinozaurii au fost distruşi acum 65 de milioane de ani de un capriciu al soartei: coliziunea cu asteroidul Chicxulub în zona peninsulei Yucatan din Mexic. Dinozaurii au fost până la urmă înlocuiţi de numeroasele specii de mamifere mari pe care le cunoaştem azi. Mulţi savanţi cred că dacă asteroidul acela nu ar fi lovit Pământul, nu ar fi existat o epocă a mamiferelor, aşa cum o cunoaştem azi, şi nici oamenii nu ar fi existat. Deci în istoria vieţii de pe această planetă întâmplarea joacă un rol important.

Dispariţia dinozaurilor este de departe cea mai vestită dintre toate extincţiile în masă. Ideea că ar fi fost provocată de coliziunea cu un asteroid a fost enunţată în anul 1980, când un grup de savanţi de la Universitatea Berkeley din California a emis două ipoteze îndrăzneţe.

Unul dintre promotorii lor a fost Walter Alvarez – cel care a descoperit valoroasa înregistrare a inversiunilor paleomagnetice databile în Apeninii italieni. În timp ce lucra la mostrele din Apenini, Alvarez a adunat o serie de mostre de lut care aveau concentraţii neaşteptat de mari de iridiu – un element care este mai abundent în asteroizi decât pe Pământ. Aceasta a condus la ipoteza, faimoasă acum, conform căreia în urmă cu 65 de milioane de ani, Pământul a fost lovit de un obiect extraterestru – un asteroid sau o cometă – iar impactul a avut ca efecte asupra mediului distrugerea totală şi permanentă a multora dintre animalele şi plantele care trăiau atunci.

Azi aceste ipoteze sunt larg (dacă nu chiar universal) acceptate, iar efervescenţa şi dezbaterile pe care le-au generat au schimbat peisajul cercetărilor geologice, dar mai ales al celor paleontologice. De atunci, studiul dispariţiei speciilor a fost una dintre forţele motrice ale paleontologiei contemporane şi a dat naştere unor idei care ar fi fost de neconceput în anul 1980. Revoluţia în gândire nu este dată de ideea că impactul cu un asteroid sau cu o cometă poate fi cauza extincţiilor în masă, ci de ideea că extincţiile în masă, indiferent de cauza lor, se pot produce alarmant de repede.



JOS Asteroidul sau cometa care a lovit Mexicul cu 65 de milioane de ani în urmă a avut efecte care s-au extins cu mult dincolo de zona impactului, alterând irevocabil viaţa de pe întreaga planetă.

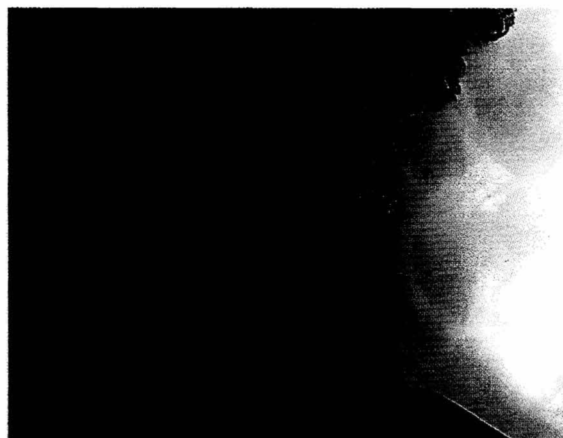
CRATERUL MORȚII

ncepând din anii 1980, evenimentul care a cauzat dispariţia dinozaurilor – extincţia în masă din Cretacic-Terţiar – a fost subiectul unor cercetări intense. Se pare că a existat o singură ciocnire cu o cometă, care s-a produs la 1-3 milioane de ani după două schimbări rapide ale nivelului global al mărilor, care au fost, la rândul lor, cuprinse într-o schimbare majoră în chimia apei oceanului. Impactul a creat un crater imens în peninsula Yucatan, de până la 300 km în diametru. Craterul, denumit acum Chicxulub, a fost apoi îngropat şi nu mai este vizibil pe uscat. Deşi încă mai există dezbateri privind dimensiunile sale actuale, nu există dubii că este ca şi structură un crater de impact.

Este posibil ca geologia şi geografia locală să fi maximizat efectele letale ale impactului. Acum 65 de milioane de ani, zona era o mare ecuatorială de mică adâncime, având pe fund un pat de evaporiţi bogaţi în sulf (evaporiţii sunt minerale depozitate prin evaporare, precum depunerile de sare de pe marginile lacurilor sărate). Cometa însăşi putea conţine sulf. Se pare că energia colosală a impactului a făcut să se evapore toate aceste substanţe bogate în sulf, lucru cu consecinţe incredibil de îngrozitoare: o schimbare globală a conţinutului gazelor atmosferice, însoţită de o scădere a temperaturii, ploi acide (conţinând mai ales acid sulfuric format datorită sulfului de la locul impactului) şi incendii extinse pe toată planeta. Cei mai mulţi savanţi sunt de acord şi că depozitele groase, cu granulaţie mare din multe locuri de-a lungul coastei estice a Mexicului, au fost formate de unde de impact. Toate aceste efecte puteau fi letale pe scară globală şi puteau deveni uşor cauza perturbării catastrofice a ecosistemului, care a distrus dinozaurii.

Temperaturile de îngheț de pe toată planeta au făcut viața imposibilă pentru dinozauri.

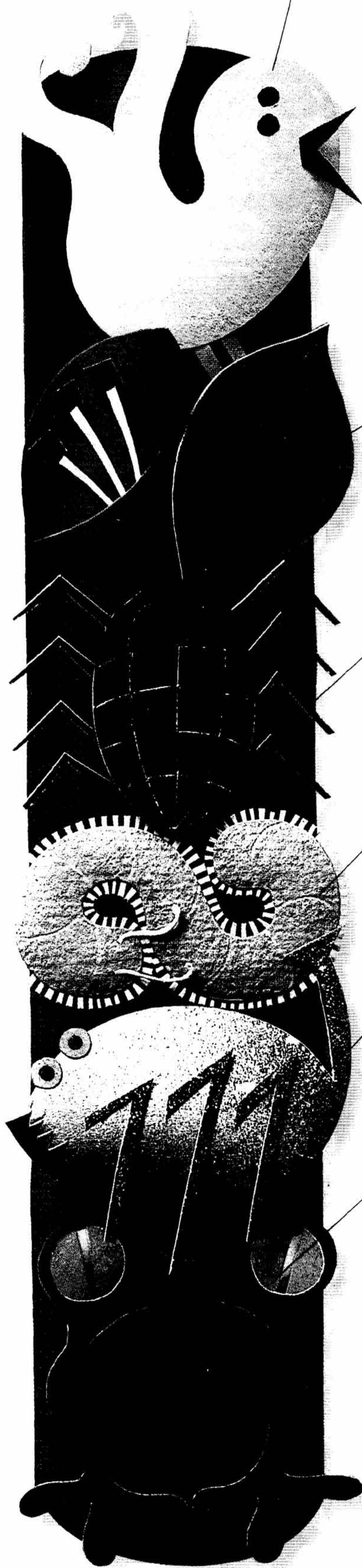
NORII UCIGAȘI



SUS **Norii de praf aruncați în atmosferă de impactul cu o cometă ar fi putut crea o lume întunecată și rece, ostilă pentru multe dintre plantele și animalele care evoluaseră în timpul unei ere de căldură tropicală.**

Cometa Chicxulub a ucis probabil relativ puține ființe ca rezultat direct al impactului, deși șocul acelui impact trebuie să fi fost colosal. Efectul său asupra compoziției atmosferei, totuși, a fost cu mult mai letal. Studiile recente au arătat că o masă imensă de sulf a fost eliberată în atmosferă după impact, estimată a avea între 40 și 700 de miliarde de tone. O mică proporție din această masă a fost transformată în acid sulfuric, care a căzut pe Pământ sub formă de ploaie acidă. Acesta poate să fi fost un mecanism ucigaș, dar mai dezastruoasă a fost pentru biosferă reducerea probabilă – cu circa 20 de procente – a energiei solare care ajungea la suprafața Pământului, timp de aproximativ 8-13 ani. Conform modelelor curente, ar fi fost suficientă pentru a produce un deceniu de temperaturi în jurul celei de îngheț, afectând o lume care, la momentul impactului, era în cea mai mare parte de tip tropical. Această iarnă prelungită ar fi fost mai mult decât suficientă pentru a cauza extincția în masă la nivelul întregii planete.

Alt model publicat recent sugerează că nivelurile mult crescute ale prafului atmosferic, generate de un asemenea impact puteau fi la fel de letale. Praful fin ar fi cauzat un întuneric ce putea să dureze câteva luni. Reducerea nivelului de lumină (sub nivelul necesar pentru fotosinteză) ar fi fost însoțită de răcirea rapidă a solului. Praful ar fi afectat negativ și ciclul hidrologic al lumii. Modelele climatice avansate au indicat că, în urma unui impact major, precipitațiile medii globale ar fi scăzut cu peste 90 de procente timp de mai multe luni și că ar fi fost necesari ani întregi pentru revenirea la normal.



JOS **Până în prezent, au fost identificate peste un milion şi jumătate de specii de organisme vii. Dar pot exista între 10 şi 30 de milioane de specii încă necunoscute. Dacă se va produce altă extincţie în masă, mai mult de jumătate dintre ele ar putea dispărea până la sfârşitul următorului mileniu.**

Încă mai sunt multe de aflat despre cronologia, detaliile şi mecanismele implicate catastrofa din Cretacic-Terţiar şi probabil vor mai fi necesare decenii de cercetări pentru a ne forma o imagine clară. Totuşi, am învăţat nişte lecţii importante. Acum ştim că impacturile pot duce la dispariţia speciilor şi că atunci când se produce o extincţie, sunt implicate de obicei mai multe mecanisme ucigaşe.

În primele zile de după ipoteza Alvarez, unii cercetători au crezut că se prefigura un model sintetic general, legând cele mai multe, dacă nu toate extincţiile în masă, de impacturi cu corpuri cereşti. Aceasta a fost gândirea din spatele ipotezei Nemesis a astronomului Rich Muller de la Berkeley. A fost şi implicaţia din spatele muncii lui David Raup şi a lui Jack Sepkoski de la Universitatea din Chicago, care au sugerat în anul 1984 că extincţiile în masă au o periodicitate de 26 de milioane de ani, ce poate fi legată de anumite fenomene astronomice.

A dus şi la conceptul lui David Raup, conform căruia impacturile se află pe un grafic al morţii: cu cât impactul este mai mare, cu atât extincţia speciilor este mai extinsă. Acest lucru poate părea evident, dar sunt multe variabile care intervin, inclusiv factori asociaţi cu corpul ceresc care loveşte Pământul (dimensiune, compoziţie, unghiul de impact şi viteza), precum şi de natura zonei de impact. Judecând după Chicxulub, este posibil ca geologia regiunii de impact să fi avut implicaţii profunde asupra letalităţii loviturii. Mai mult, nu numai geologia zonei de impact, ci şi geografia sa ar fi putut juca un rol important: un impact cu un corp ceresc similar, la acelaşi unghi şi cu aceeaşi viteză, însă la o latitudine mică, ar fi avut consecinţe total diferite decât în cazul unei latitudini mai mari, deoarece distribuţia letalităţii pe glob putea fi produsă de tipurile de circulaţie atmosferică.

În final, şi tipul formelor de viaţă existente şi compoziţia atmosferei din momentul impactului sunt importante. Un impact cu o lume foarte diversă şi specializată biologic trebuie să aibă efecte diferite de ale unui impact cu o lume de mică diversitate biologică. Iar un impact cu o lume în care este prezent efectul de seră poate avea efecte diferite de cele ale unui impact cu o lume în care atmosfera are mai puţine gaze ce provoacă efectul de seră decât azi.



SUS **Mamutul de tundră sau mamutul lânos era o ființă mare, asemănătoare elefantului, ce cutreiera cândva tundra din nordul Asiei. Au fost găsite numeroase carcase intacte, congelate și păstrate în permafrost – precum acest pui găsit în Siberia în anul 1989. Mamutul de tundră este numai una dintre multele specii de animale mari care au dispărut în ultimii 10000 de ani.**

Catastrofa curentă

Oare s-ar putea produce din nou o extincţie în masă? O mulţime de dovezi ştiinţifice arată acum că este posibil ca lumea noastră să fi intrat deja în altă fază de extincţie în masă. Multe victime remarcabile au dispărut deja: în ultimii 10000 de ani am pierdut o mulţime de animale mari de uscat, precum pisicile cu dinţi sabie, rinocerul lânos, urşii de peşteră, leii americani, păsările elefant, struţii Moa din Noua Zeelandă, elanul irlandez şi o sută de alte fiinţe gigantice care împodobeau cândva Pământul. Au fost exterminate de o combinaţie a schimbărilor climatice, a vânării de către om şi a perturbării habitatului lor, cauzată de dezvoltarea agriculturii.

În timpul secolelor ce urmează, este aproape sigur că va continua dispariţia mamiferelor mai mari, din cauza creşterii continue a populaţiei umane. Oamenii vor supravieţui, fără îndoială, dar multe alte specii care trăiesc acum pe Pământ – probabil majoritatea – nu. Estimările asupra extincţiei finale variază foarte mult, dar cei mai mulţi savanţi din domeniu consideră că cel puţin 25-50 la sută din toate speciile – mari şi mici – ar putea dispărea până la sfârşitul mileniului.

Demonstrarea acestui punct de vedere este extraordinar de dificilă. O problemă, desigur, este faptul că întrucât avem numai o vagă idee despre numărul speciilor existente acum pe Pământ, nu putem stabili ce procentaj din biodiversitatea totală a speciilor dispare în fiecare an. Aproximativ 1,6 milioane de specii au fost identificate până în prezent, dar cei mai mulţi taxonomi cred că există mult mai multe, mai ales printre insectele tropicale. Peter Raven de la Grădina Botanică din Missouri estimează că există cel puţin 10 milioane de specii, în timp ce E. O. Wilson, eminent entomolog din Statele Unite ale Americii, a sugerat că pot exista chiar 30 de milioane de specii.

Totuşi, dacă ştim aşa de imprecis câte specii există, cum putem face o estimare rezonabilă a numărului de specii care vor dispărea? Este probabil ca, pentru fiecare extincţie cunoscută să fie eliminate şi multe dintre speciile încă „necunoscute", deci numerele actuale sunt irelevante. Din punctul de vedere al procentajelor, ne confruntăm aproape sigur cu o catastrofă biologică ce a început de mult.

EXPLOZIA COSMICĂ

O cauză potențială a extincției în masă este explozia unei stele – a unei supernove – în vecinătatea galactică a Soarelui. Doi astronomi de la Universitatea din Chicago au calculat că o stea care se transformă în supernovă la 30 de ani lumină de Soare ar elibera fluxuri de radiație electromagnetică energetică și radiații cosmice încărcate electric ce ar fi suficiente pentru a distruge stratul de ozon al Pământului în cel mult 300 de ani. Cercetările recente asupra sărăcirii stratului de ozon din atmosfera actuală sugerează că pierderea stratului de ozon ar putea fi o calamitate pentru biosferă, deoarece ar expune și organismele marine și cele terestre la radiațiile ultraviolete potențial letale. Organismele care fac fotosinteză, precum fitoplanctonul, dar și recifele de corali ar suferi deosebit de mult.

Calculând numărul de stele care au fost la 30 de ani lumină de Soare în ultimele 530 de milioane de ani și rata de producere a exploziilor supernovelor, astronomii au ajuns la concluzia că asemenea explozii s-au putut produce la fiecare 200 sau 300 de milioane de ani, având consecințe traumatizante pentru dezvoltarea vieții de pe Pământ.

Anumite lucruri sunt inevitabile. Populaţia umană aproape că s-ar putea tripla la 17 miliarde de oameni până la sfârşitul secolului; oamenii sunt animale mari care monopolizează resursele; tot oamenii provoacă dispariţia unor specii. În mod cert, în ultimii 40000 de ani o proporţie semnificativă de mamifere mari a dispărut deja de pe toate continentele, cu excepţia Africii. Şi în mod sigur, reducerea accelerată a suprafeţelor acoperite de păduri în lume, mai ales în pădurile tropicale, duce la dispariţia masivă a unor specii. Şi atunci în ce punct, dacă există vreunul, vor fi ucise destule specii pentru a ne da seama şi a recunoaşte că participăm la un fenomen de extincţie în masă a speciilor? Cea mai extremă estimare a fost făcută de Peter Raven: el a sugerat că 60 de procente din toate speciile aflate acum pe Pământ vor dispărea până în anul 2300. Deoarece biodiversitatea mondială actuală pare să fie mult mai mare decât în orice moment din trecut, acest lucru va face din criza curentă, dacă se va produce, cea mai devastatoare extincţie în masă a tuturor timpurilor.



SUS **Biosfera ar evolua foarte bine dacă populaţia umană s-ar menţine sub control.**



SUS **Aşa cum este, planeta geme sub povara umanităţii care ar putea deveni în curând de nesuportat.**

IPOTEZA PĂMÂNTULUI SINGUR ÎN UNIVERS

În prezent, savanţii au o nouă preocupare – care este împărtăşită, într-o anumită măsură, de aproape toată lumea de pe planetă. Oare suntem singuri în Univers?

Este probabil că nu suntem singura formă de viaţă. Însă, în timp ce viaţa sub forme foarte simple, la nivelul bacteriilor, este probabil foarte comună în alte lumi (şi în alte galaxii), viaţa animală multicelulară – pe care o putem defini sub forma organismelor înzestrate cu motilitate, alcătuite din mai multe celule, care depind de alte organisme pentru a se hrăni – este probabil rară. De ce? Deoarece diversitatea vieţii complexe pe Pământ a evoluat printr-un set extraordinar de circumstanţe fizice şi evenimente datorate şansei.



SUS **Unul dintre cele mai interesante domenii de studiu ale ştiinţelor care studiază Pământul este căutarea vieţii pe alte planete – dar şansele de a găsi asemenea lumi sunt foarte mici.**

Ştim că în Univers există multe alte planete, deşi niciunul dintre sistemele planetare descoperite până acum nu este similar Sistemului Solar. Ştim şi că înregistrările fosile din ultimele 3,5 miliarde de ani ai istoriei Pământului arată o tranziţie relativ abruptă de la organisme unicelulare la organisme complexe şi că diversificarea a fost ajutată de noile evoluţii ale sistemelor genetice. Această diversificare bruscă a animalelor, denumită adesea explozia din Cambrian, s-a produs acum 500 de milioane de ani, cu peste trei miliarde de ani după apariţia vieţii pe Pământ. Deci evoluţia nu a creat gradual animalele complexe. Când, până la urmă, au evoluat, au făcut-o atât de rapid, ca reacţie la un set de condiţii din mediu, încât au fost foarte diferite de cele care au permis evoluţia de la început a vieţii.

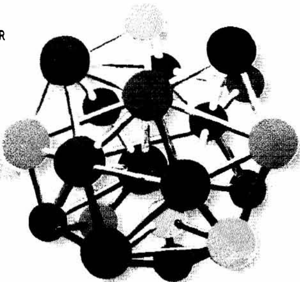
Se pare că evoluţia animalelor complexe necesită un număr mare de evenimente independente, de mică probabilitate, care sunt diferite de cele necesare pentru apariţia şi menţinerea vieţii microbiene. După ce au evoluat, animalele complexe sunt foarte expuse extincţiei în masă. Menţinerea vieţii animale pe o planetă depinde de un anumit prag critic al nivelului de diversitate, ce le permite animalelor să supravieţuiască evenimentelor inevitabile de extincţie în masă care se produc în istoria oricărei planete.

Luând în considerare toate aceste aspecte, se pare că evoluţia vieţii avansate necesită o planetă stâncoasă poziţionată la distanţa potrivită faţă de soarele său – pe aşa numita orbită Goldilocks, „nici prea fierbinte, nici prea rece" – într-un sistem solar care oferă şi energie sigură şi protecţie faţă de asteroizii rătăcitori. De asemenea, depinde de multe alte condiţii care, pe Pământ, au existat printr-un noroc. Şansele producerii în alt loc a unor asemenea coincidenţe norocoase sunt într-adevăr foarte mici, dar Universul este un loc foarte mare.

PRIVIRE RAPIDĂ ASUPRA ŞTIINŢELOR PĂMÂNTULUI



DATAREA FOSILELOR



DATAREA RADIOACTIVĂ

1715

Edmund Halley sugerează că vârsta Pământului ar putea fi calculată din rata de acumulare a sării din oceane.

1740

Contele de Buffon face experimente cu ratele de răcire ale globurilor fierbinţi pentru a arăta că Pământul este mult, mult mai bătrân decât indicau estimările biblice.

1788

James Hutton insistă că vârsta Pământului se măsoară în milioane de ani, nu în mii de ani, aşa cum se credea.



JAMES HUTTON

1792

John Phillips împarte istoria Pământului, începând din perioada în care fosilele au devenit abundente, în trei perioade – erele palaeozoică, mezozoică şi cenozoică – separate de extincţii în masă.

1817

William Smith arată cum poate fi datată secvenţa rocilor dintr-un afloriment prin fosilele pe care le conţine fiecare strat.

1860

William Thomson (care avea să devină lord Kelvin) şi Clarence King estimează vârsta Pământului la circa 24 de milioane de ani în funcţie de rata sa de răcire, presupunând că a fost la început o masă lichidă.



DATAREA PALEOMAGNETICĂ

1896

Antoine Becquerel descoperă uraniul.

1898

Marie Curie descoperă elementul denumit toriu şi radioactivitatea.

1904

Ernest Rutherford arată că datorită căldurii eliberate prin radioactivitatea uraniului şi a altor substanţe, calculele lui Kelvin au fost eronate şi că probabil Pământul are o vârstă mult mai mare decât 24 de milioane de ani.

1907

Ernest Rutherford sugerează că procesul de descompunere radioactivă poate fi folosit ca instrument de măsurare a timpului geologic.

1912

Alfred Wegener este primul care a propus în mod serios conceptul derivei continentelor.

1913

Arthur Holmes foloseşte descompunerea radioactivă pentru a determina vârsta absolută a fosilelor, atribuind pentru prima oară date reale erelor geologice.

1947

Willard Libby dezvoltă tehnica datării cu carbon pentru datarea obiectelor având până la 40000 de ani vechime.

1921

Munca lui Alexander du Toit în sudul Africii dă greutate teoriei lui Alfred Wegener asupra derivei continentelor.



ISTORIA VIEŢII



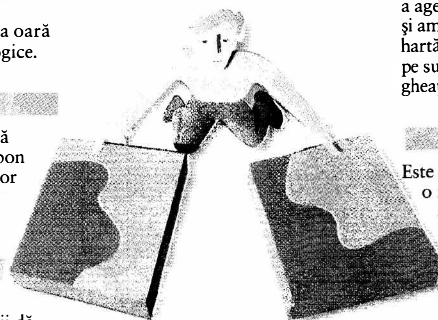
ERNEST RUTHERFORD

1929

Motonori Matuyama descoperă că direcţia câmpului magnetic al Pământului s-a schimbat de multe ori în trecut

1963

Savanţii Vine şi Matthews găsesc dovezi ale inversiunilor magnetice înregistrate în rocile de pe fundul oceanului.



DIVERGENŢA PLĂCILOR

1971

Tessier şi Beck arată că muntele Stuart din S.U.A. s-a format la 3000 km către sud faţă de poziţia sa actuală.

1972

Walter Alvarez şi Bill Lowrie arată că a existat o inversiune magnetică marcantă la începutul Cretacicului, acum 83 de milioane de ani.

1977

David Jones, Norm Silberling şi John Hillhouse de la US Geological Survey identifică vechea terrană masivă (masă continentală) a Wrangelliei în partea de nord-vest a Americii de Nord.

1985

Ted Irving arată că Wrangellia este doar o mică parte a unei terrane mult mai mari, pe care o denumeşte Baja British Columbia.

1988

Darrel Cowan, împreună cu studenţii lui, Paul Umhoefer, Mark Brandon şi John Garver arată că Baja British Columbia s-a format undeva în apropiere de poziţia actuală a Mexicului.

1997

NASA lansează Sojourner, primul din trei „roboţi geologi" care aveau să exploreze planeta Marte.

2003

Sonda Galilei, o misiune comună a agenţiilor spaţiale europene şi americane, realizează o hartă a unităţilor geologice de pe suprafaţa satelitului de gheaţă al lui Jupiter, Europa.

2006

Este lansat Google Earth, o imagine gratuită online a suprafeţei Pământului.



PĂMÂNTUL

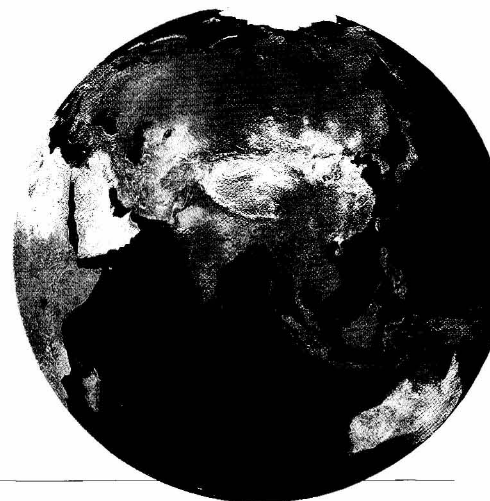

a
b

Pulsul vieţii

BIOLOGIA



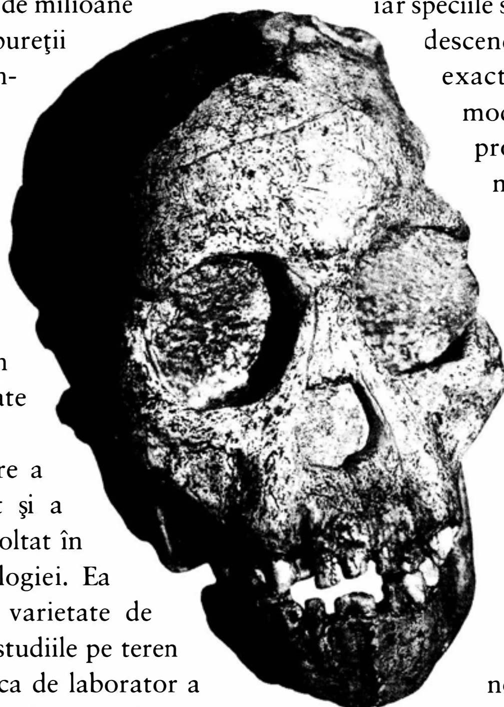
Cu aproape paisprezece miliarde de ani în urmă, Universul şi-a început expansiunea, ceea ce a dus la apariţia a mai multe sute de miliarde de galaxii, fiecare conţinând în medie mai multe sute de miliarde de stele. În jurul stelelor orbitează un număr inimaginabil de planete, dar, din câte ştim, viaţa organică a apărut numai pe una dintre ele, pe Pământ.



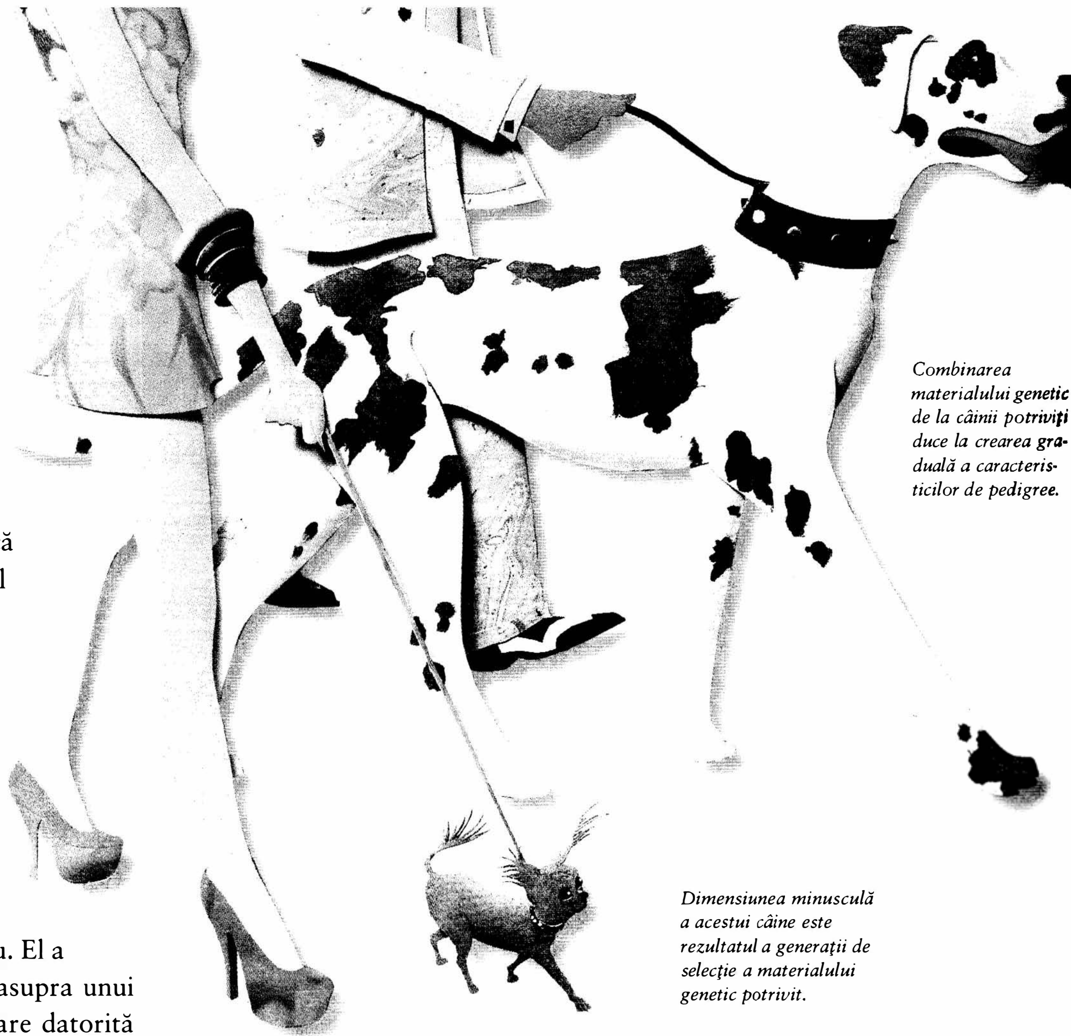
SUS **Încălzit de Soare, protejat de atmosfera dătătoare de viaţă şi binecuvântat cu apă din abundenţă, Pământul ar putea fi singura planetă din Univers care are combinaţia potrivită de condiţii pentru evoluţia vieţii multicelulare avansate. Povestea vieţii – modul în care a început şi în care s-a dezvoltat – este unul dintre domeniile cele mai interesante ale ştiinţei moderne.**

Formele de viaţă unicelulare au apărut pe Pământ cu aproximativ 3,5 miliarde de ani în urmă, la scurt timp după formarea Sistemului Solar, acum 4,6 miliarde de ani. Aceste organisme asemănătoare bacteriilor au monopolizat planeta timp de trei miliarde de ani, înainte de apariţia animalelor multicelulare, a plantelor şi a ciupercilor în vasta şi abundenta varietate a exploziei din Cambrian, acum 550 de milioane de ani. Jumătate dintre bureţii găsiţi pe Pământ – principala categorie a formelor de viaţă – au apărut în acea perioadă. Totuşi, aproape toate speciile individuale care au trăit vreodată sunt acum dispărute şi sunt cunoscute numai din rămăşiţele lor fosile, aflate în roci.

Studiul modului în care a apărut viaţa pe Pământ şi a modului în care s-a dezvoltat în timp este obiectivul biologiei. Ea are legături cu o mare varietate de discipline speciale, de la studiile pe teren ale naturaliştilor la munca de laborator a biochimiştilor. În particular, modul în care cunoaştem în prezent viaţa de pe Pământ a fost modelat de două dintre cele mai importante idei care se află la baza ştiinţei moderne; conceptul evoluţiei speciilor prin selecţie naturală, publicat mai întâi sub formă de teorie de către Charles Darwin la mijlocul secolului XIX, şi revoluţia biologiei moleculare, produsă prin descoperirea elicii duble a ADN-ului, exact cu un secol mai târziu, de către James Watson şi Francis Crick. Darwin a emis ipoteza că toate formele de viaţă de pe Pământ sunt înrudite şi au origine comună, iar speciile se schimbă prin modificări asupra descendenţilor. El nu a putut explica exact cum funcţionează mecanismul modificării, însă a susţinut că acesta producea variaţia naturală, fundamentală în procesul evoluţiei. Descoperirea elicii duble a ADN-ului şi descifrarea codului genetic a completat spaţiile libere, dezvăluind modul în care materialul ereditar trece prin mutaţii şi transmite schimbările către generaţia următoare. Biologii moleculari au descoperit şi noi metode de a detecta strămoşii şi relaţiile de înrudire, atât în cazul speciilor existente, cât şi al celor dispărute, demonstrând teoria şi clarificând cronologia vieţii. După ce mult timp s-au bazat pe caracteristici superficiale ale organismelor vii şi pe înregistrările fosile limitate, biologii pot acum să descopere exact de unde venim şi cum am ajuns aici.



STÂNGA **Descoperit în anul 1924, acest craniu fosil vechi de două milioane de ani al unui copil a fost prima dintre multele descoperiri de acest fel din Africa. Misterele create de asemenea rămăşiţe, adesea fragmentate, sunt acum în curs de dezlegare prin tehnici datorate revoluţiei biologiei moleculare.**



*Combinarea materialului **genetic** de la câinii **potriviţi** duce la crearea **gra**duală a caracteristicilor de pedigree.*

Dimensiunea minusculă a acestui câine este rezultatul a generaţii de selecţie a materialului genetic potrivit.

EVOLUŢIE ŞI REVOLUŢIE

Biologia a intrat în era modernă în anul 1859, odată cu publicarea lucrării lui Darwin, *Despre originea speciilor*. Înainte de publicarea ei, aproape toată lumea occidentală credea că Pământul şi toţi locuitorii lui au fost creaţi numai cu câteva mii de ani în urmă. Se credea că geografia Pământului şi caracterul speciilor individuale nu se schimbaseră semnificativ de la momentul Creaţiei. Speciile dispărute fosilizate, precum dinozaurii, erau „explicate" ca fiind rasele de uriaşi despre care se vorbea în Biblie.

Darwin a spulberat această imagine statică şi liniştită cu viziunea sa a unui Pământ străvechi, dinamic, în care speciile apar şi dispar în continuu. El a dezvoltat viziunea lui Charles Lyell asupra unui Pământ aflat în permanentă schimbare datorită forţelor interne care provoacă erupţiile vulcanilor şi cutremurele. Pe măsură ce trece timpul, rocile insulelor şi ale continentelor sunt ridicate şi erodate, dezvăluind rămăşiţele fosilizate ale formelor de viaţă care au existat în vremurile străvechi.

Darwin a emis şi ideea că toate speciile existente în prezent provin din speciile anterioare, în urma procesului de selecţie naturală. Astfel, toate speciile de pe Pământ sunt înrudite şi au strămoşi comuni. Lucrul care a fost cel mai greu de acceptat, nu numai de către fundamentaliştii religioşi, ci şi de către mulţi dintre savanţii care îi erau colegi lui Darwin, a fost conceptul conform căruia calea evoluţiei nu are o anume direcţie către „forme superioare" – în particular, oamenii – ci este determinată de circumstanţele particulare ale timpului şi locului. Darwin a respins noţiunea de progres.

Mecanismul propus de Darwin pentru schimbarea evolutivă era selecţia naturală. La fel cum crescătorii de câini selectează animalele care au însuşirile dorite pentru a produce un nou pedigree, natura favorizează anumite caracteristici, în anumite condiţii de mediu. Indivizii care sunt cei mai potriviţi condiţiilor existente au cele mai mari şanse de a supravieţui şi de a-şi transmite caracteristicile urmaşilor lor. Aşadar evoluţia se produce prin modificarea descendenţilor, iar în timp, schimbările dau naştere unor noi specii.

Separarea geografică este un factor important în apariţia noilor specii, după cum a avut Darwin marea oportunitate să observe în timpul călătoriei sale de cinci ani prin lume la bordul navei Beagle a Amiralităţii Britanice. Când plantele sau animalele sunt dispersate pe insule diferite sau sunt separate pe versanţii opuşi ai munţilor, membrii aceloraşi specii pot evolua şi se pot adapta în moduri diferite, deoarece sunt expuşi unor presiuni diferite ale mediului şi nu pot să se reproducă încrucişat. Până la urmă, comportarea şi fiziologia lor diverg într-o asemenea măsură încât nu se mai recunosc ca parteneri potenţiali pentru reproducere şi devin specii distincte. Strămoşul lor comun poate continua să se dezvolte în forma originală sau, supus unor condiţii schimbătoare, poate muri şi el, devenind alt fragment interesant de înregistrare fosilă.

SUS **Variaţia genetică a permis oamenilor să selecteze şi să reproducă acei câini care aveau anumite caracteristici, creând astfel rase diferite. Aceeaşi variaţie oferă materia primă pentru selecţia naturală – supravieţuirea celui mai adaptat, care a creat milioanele de specii diferite. Descoperirea lui Darwin că evoluţia se produce prin selecţie naturală a fost una dintre cele mai mari realizări ştiinţifice.**

DARWIN ŞI BEAGLE

Charles Darwin avea numai 22 de ani şi abia absolvise Universitatea Cambridge când i-a fost oferit postul de naturalist oficial la bordul navei Beagle, un velier trimis de Amiralitatea Britanică să efectueze o călătorie de prospecţiuni geodezice în jurul coastelor Americii de Sud. Era ceva mai mult decât un amator – intenţionase să devină preot de ţară – dar prietenia lui cu John Henslow şi Adam Sedgwick, profesori de botanică, respectiv, de geologie la Cambridge, l-a ţinut la curent cu cele mai noi idei ştiinţifice. Henslow a fost cel care l-a recomandat pe Darwin pentru această poziţie, dându-i ocazia de a studia direct o minunată varietate de animale şi plante, fosile, formaţiuni geologice şi alte fenomene naturale în timp ce geodezii îşi făceau munca lor.

De-a lungul celor cinci ani de călătorie, Darwin a colectat specimene şi i le-a trimis lui Henslow în Cambridge. Unele dintre cele mai extraordinare şi uimitoare au fost obţinute în insulele Galapagos, un arhipelag vulcanic aflat pe Ecuator la o mie de kilometri în vestul statului Ecuador. Darwin a fost intrigat de faptul că fiecare insulă era locuită de specii distincte, toate uşor diferite de cele din insulele învecinate. De ce exista o asemenea varietate şi cum apăruse? Răspunsul său – că variatele specii se diversificaseră pornind de la strămoşi comuni, prin păstrarea raselor favorizate în lupta pentru viaţă – avea să devină germenul teoriei sale revoluţionare asupra selecţiei naturale.

EREDITATEA

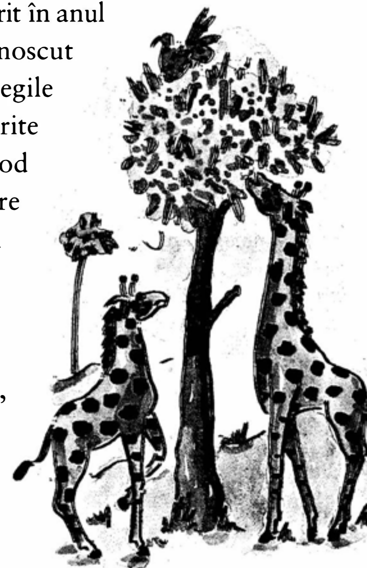
Modurile prin care caracteristicile părinţilor sunt transmise copiilor a fost desigur crucial pentru înţelegerea completă a acestui proces evolutiv. Când a fost publicată lucrarea *Originea speciilor* în anul 1859, nici Darwin nici altcineva nu ştia cum funcţionează ereditatea. Mulţi savanţi influenţi – precum biologul francez Jean Baptiste Lamarck şi bunicul lui Charles Darwin, medicul şi naturalistul Erasmus Darwin – au presupus că însuşirile dobândite în timpul vieţii părinţilor sunt transmise copiilor.

Dacă însuşirile dobândite sunt ereditare, putem explica aspectul girafelor imaginându-ne generaţii succesive de ierbivore întinzându-şi gâturile către frunzele aflate tot mai sus. Girafele părinţi care au reuşit să-şi alungească gâturile doar puţin – la fel cum halterofilii au muşchii mai dezvoltaţi – au produs tinere girafe ale căror gâturi erau ceva mai lungi decât era normal.

Darwin nu ar fi fost de acord cu acest scenariu. Conform teoriei sale, toate generaţiile de ierbivore ar avea diferite lungimi ale gâturilor. Dacă acelea cu gâtul lung au putut să se hrănească mai bine decât celelalte, au avut tendinţa de a supravieţui mai mult şi de a naşte mai mulţi pui. Deci selecţia naturală le-ar favoriza pe cele cu gâturile lungi, iar alungirea lor graduală în generaţii succesive ar duce la creaturile pe care le numim acum girafe.

Teoria lui Darwin se bazează foarte tare pe observaţie şi simţ practic. Caracteristicile indivizilor variază, desigur, iar această variaţie trebuie să le afecteze şansele de a supravieţui destul încât să perpetueze specia. Dar cum şi de ce variază? Şi de ce variaţiile nu sunt precis reflectate în urmaşii lor?

Fără ca Darwin şi restul lumii ştiinţifice să ştie, problema era cercetată în anii 1860 de către călugărul din Moravia Gregor Mendel. Prin încucişarea atentă a generaţiilor de plante de mazăre şi observarea caracteristicilor părinţilor care apăreau la copii, Mendel a determinat legile care stau la baza geneticii moderne. Dar Mendel lucra în umbră, iar deşi rezultatele sale au fost publicate în anul 1866, au fost ignorate de comunitatea ştiinţifică internaţională (lucru de înţeles, poate, câtă vreme au apărut în publicaţia parohială *Journal of the Brno Natural History Society – Jurnalul Societăţii de Istorie Naturală din Brno*). Mendel a murit în anul 1884, încă neconoscut lumii ştiinţifice, iar legile sale au fost descoperite din nou în mod independent de către trei biologi diferiţi în anul 1900. Larga acceptare a acestor legi a creat o nouă disciplină ştiinţifică, iar până la urmă a dus la evoluţia biologiei moleculare.



DREAPTA **Pentru o girafă, un gât lung înseamnă mai multă hrană. Dar cum a ajuns oare să aibă gâtul lung?**

MUNCA LUI MENDEL

Mendel şi-a bazat legile eredităţii pe modelele de moştenire pe care le-a observat în timpul celor opt ani de experimente cu plantele de mazăre. El a selectat şapte caracteristici – ca poziţia florii, culoarea păstăii, forma boabelor coapte şi înălţimea plantelor – şi a făcut înregistrări meticuloase ale apariţiei acestora de-a lungul multor generaţii pe care le-a încrucişat cu atenţie. Apoi a folosit datele pentru a calcula rapoartele de apariţie a fiecăreia şi a propus o teorie pentru a le explica.

Aproape imediat, rezultatele sale au au contrazis presupunerea moştenirii combinate, care era acceptată de majoritatea naturaliştilor, printre care şi Darwin. Când Mendel a selectat plante înalte de mazăre şi plante scunde despre care se credea că sunt soiuri pure (producând urmaşi asemănători), şi le-a încrucişat pentru a crea o generaţie de primi urmaşi, denumiţi hibrizi F1, aceştia au fost toţi înalţi. Nu au apărut plante scunde şi în mod sigur nu existau plante de înălţime intermediară, aşa cum ar fi fost de aşteptat dacă trăsăturile plantelor părinte s-ar fi combinat la copii. Totuşi, dacă prin încrucişarea plantelor înalte şi a celor scunde au apărut numai plante înalte, ce s-a întâmplat cu caracteristica plantelor de a fi scunde?

Răspunsul a apărut în a doua generaţie F2, pe care Mendel a creat-o prin încrucişarea hibrizilor săi F1 înalţi. Aproximativ trei sferturi dintre aceste plante erau înalte, iar un sfert din plante erau scunde. Însuşirea plantelor de a fi scunde reapăruse în mod misterios.

Mendel a explicat acest fenomen din punctul de vedere al particulelor moştenite – genele – care determină fiecare însuşire. Fiecare caracteristică – înălţimea, poziţia florilor şi aşa mai departe – era controlată de o pereche de gene, moştenite de la două plante părinte. Dacă fiecare genă din pereche avea aceeaşi caracteristică moştenită, să zicem, însuşirea de a fi scundă, atunci planta obţinută va fi scundă. Dar dacă cele două gene au trăsături moştenite diferite, atunci una o va domina pe cealaltă.

Datele obţinute de Mendel l-au convins că anumite caracteristici erau întotdeauna dominante, iar faptul că plantele de mazăre sunt înalte este una dintre ele. Deci dacă un hibrid a moştenit o genă „scundă" şi o genă „înaltă", sau are combinaţia S-Î, gena Î va controla înălţimea plantei mature. Presupunând că procesul de moştenire era aleator din punct de vedere statistic, un hibrid din patru avea să fie Î-Î şi să fie înalt, unul va fi S-S şi va fi scund, iar ceilalţi doi aveau să fie S-Î şi Î-S, deci – deoarece Î este dominantă – vor fi tot înalţi. Acest lucru a explicat de ce trei sferturi dintre hibrizii F2 erau înalţi şi un sfert din ei erau scunzi.

Raportul unu la trei este o lege fundamentală a eredităţii. Când sunt considerate mai multe caracteristici diferite, modelele de transmitere la generaţiile următoare devin mai complexe, aşa cum Mendel însuşi a descoperit, dar conceptul său de bază – caracteristici dominante şi caracteristici recesive – şi modelul de transmitere pe care îl creează – rămâne fundamental pentru ştiinţa geneticii.

Moleculele vitale

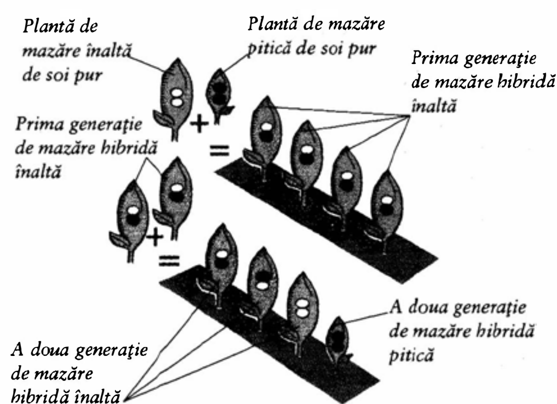
Mendel şi cei care i-au continuat studiile au determinat mecanismul statistic al eredităţii şi chiar Mendel a emis ideea existenţei particulelor moştenite pe care acum le numim gene, deşi adevărata natură a materialului ereditar ce transmite trăsăturile plantelor şi ale animalelor era încă un mister absolut. În zilele noastre ştim că structura moleculară a materiei este bazată pe structura şi funcţionarea genelor. Dar, deşi a fost propus conceptul moleculelor, acesta era departe de a fi un principiu acceptat în ultima jumătate a secolului XIX, când Darwin şi Mendel îşi făceau studiile lor revoluţionare. Fiind în prezent obişnuiţi să privim şi materia vie şi cea fără viaţă în termenii compoziţiei moleculare, nu ne este uşor să ne punem în locul savanţilor din acea perioadă.

Mulţi chimişti şi fizicieni pur şi simplu nu credeau că moleculele erau lucruri reale. Mai mult, exista o convingere larg răspândită conform căreia constituenţii materiei vii şi ai celei ne-vii sunt fundamental diferiţi şi că ţesutul viu era dotat cu o „forţă vitală", un ingredient ce lipsea din substanţele anorganice. Această dezbatere a mecanicismului împotriva vitalismului nu putea fi rezolvată decât prin determinarea chimiei fundamentale a vieţii, iar forţa vitală s-a dovedit a fi un fenomen chimic – care se produce şi în lucrurile neînsufleţite –, dependent de modul în care anumiţi atomi se combină pentru a crea molecule organice speciale, cum sunt proteinele, aminoacizii şi acizii nucleici.

Înainte de realizarea acestei sinteze, trebuia stabilit dacă atomii şi moleculele existau cu adevărat, însă nu existau dispozitive de înregistrare care să explice de ce anumite materiale se combinau în proporţii precise în experimentele chimice.

De exemplu, se arătase că elementele gazoase hidrogen şi oxigen se combină întotdeauna într-un raport fix – două volume de hidrogen la un volum de oxigen – pentru a forma apa. Fizicianul italian Amedeo Avogadro a postulat că volumele egale din orice gaz conţin acelaşi număr de molecule, dar acel număr nu era cunoscut încă.

Plantele de mazăre ale lui Mendel



SUS **Când sunt încrucişate plante de soi pur de mazăre, toţi hibrizii reflectă caracteristica dominantă de a fi înalte. Dar când hibrizii sunt din nou încrucişaţi, unul din patru urmaşi moştenesc genele recesive şi rămân pitice.**

În anul 1905, tânărul Albert Einstein a demonstrat că moleculele erau reale calculând valoarea numărului lui Avogadro. El a analizat fenomenul misterios al mişcării browniene, denumită după Robert Brown, un botanist englez care era cu o generaţie mai vârstnic decât Darwin. Brown a observat că micile particule de polen sau de suspensie de funingine în apă pe care le observa la microscop se deplasau de colo-colo în direcţii aleatoare. De unde provenea energia acestor particule? Savanţii dezbăteau de aproape un secol această întrebare. Unii credeau că provine din ciocnirile dintre particule şi moleculele din soluţie, dar nu puteau demonstra acest lucru.

Einstein a găsit o metodă de a demonstra. El a creat o formulă pentru calcularea numărului lui Avogadro, folosind cantităţi măsurabile, ca dimensiunea şi mişcarea particulelor, sau temperatura şi vâscozitatea fluidului. Dintr-o dată, a devenit posibilă numărarea moleculelor dintr-o soluţie, iar deoarece puteau fi numărate, moleculele s-au transformat din entităţi mai degrabă intangibile şi ipotetice în lucruri fără îndoială reale.

La mijlocul anilor 1920, fizica cuantică a dezvăluit natura legăturii chimice, unificând astfel fizica şi chimia. După această unificare, metodele folosite în chimie au fost aplicate tot mai mult în studiul organismelor vii, iar astfel s-a descoperit că plantele şi animalele erau alcătuite mai ales din molecule proteice complexe, alcătuite din diferite aranjamente ale unor molecule mai mici, numite aminoacizi. Astfel s-a dedus că există o origine comună a celor două regate ale fiinţelor vii – iar diferenţele dintre ele provin din mecanismul care a creat diferitele tipuri de proteine.

Cromozomi şi gene

Cercetările genetice au continuat rapid în primele decenii ale secolului XX. Examinarea la microscop a celulelor plantelor şi animalelor a dus la descoperirea cromozomilor: structuri filiforme din nucleul fiecărei celule (sau din citoplasma bacteriilor, care nu au nucleu). Aceştia pot fi văzuţi multiplicându-se în timpul diviziunii celulare, într-un proces numit mitoză. Părea posibil ca aceste structuri care se multiplică să poarte informaţii vitale despre funcţionarea celulei.

S-a descoperit că unele organisme au cromozomi deosebit de mari, comparativ cu dimensiunea corpului. Micuţa musculiţă de oţet (*Drosophila*) este una dintre ele, cu cromozomi gigantici care pot fi examinaţi destul de detaliat. Destul de cert, particulele ereditare despre care Mendel a presupus că există – pe care acum le numim gene – pot fi văzute înlănţuite pe cromozomi, ca mărgelele pe aţă, conform opiniei unui observator.

Musculiţa de oţet a avut un avantaj suplimentar datorită faptului că are o durată scurtă de viaţă şi se reproduce rapid, producând multe generaţii într-un interval scurt de timp. Acest lucru permite cercetătorilor să compare cromozomii generaţiilor succesive, iar ei au descoperit că alteraţiile chimice din gene, numite mutaţii genetice, se pot produce spontan sau pot fi induse prin radiaţii. Mutaţiile s-au manifestat sub forma anomaliilor fizice, precum ochii albi în loc de roşii, cum era normal, sau patru aripi în loc de două, cum era normal. Deci s-a stabilit fără urmă de îndoială că forma fizică a unui organism este dictată de aranjarea şi combinarea genelor de pe cromozomi.



GREGOR MENDEL
1822–1884
Fiu al unui fermier, Mendel şi-a desfăşurat experimentele de reproducere în grădina mănăstirii sale din Brno, Moravia. În cele din urmă a ajuns abate, dar interesul său faţă de biologie l-a transformat într-un personaj suspect din punctul de vedere al bisericii.



JOS **Cromozomii remarcabil de mari ai musculiţei de oţet şi capacităţile sale de reproducere rapidă fac din ea un subiect ideal de studiu pentru cercetările genetice.**

Limbajul chimic al eredităţii

Problema principală din genetică ce mai trebuia să fie rezolvată era determinarea naturii chimice a materialului genetic. În anii 1920, s-a stabilit despre cromozomi că sunt compuşi din proteine şi o substanţă numită acid dezoxiribonucleic, pe scurt ADN. De aceea, părea evident că genele, care sunt componentele cromozomilor, sunt şi ele compuse din ADN sau proteine sau din ambele.

Cei mai mulţi biochimişti şi geneticieni considerau că este vorba despre proteine. Acestea sunt componenta principală a ţesuturilor vii şi sunt alcătuite din combinaţii a 20 de aminoacizi diferiţi. Dacă aceşti aminoacizi sunt consideraţi a fi alfabetul unui limbaj chimic, proteinele au în mod clar capacitatea de stoca şi de a transmite o cantitate aproape infinită de informaţii biologice.

Prin comparaţie, ADN-ul este o structură complexă, construită în jurul secvenţelor a numai patru compuşi chimici, numiţi baze. La început, prima dintre variatele combinaţii ale acestei secvenţe de patru părţi a fost considerată inadecvată pentru a servi drept alfabet chimic al vieţii. Totuşi, nişte experimente elegante cu *Pneumococcus*, bacteria care provoacă pneumonia, au arătat că ADN-ul, nu proteina, stă la baza diferenţei dintre varietăţile infecţioase şi cele neinfecţioase ale bacteriei. Astfel, informaţiile care determină forma şi funcţionarea bacteriei *Pneumococcus* au fost transportate în ADN-ul ei. Dar ce era ADN-ul şi cum funcţiona?

CODUL GENETIC

Singurul mod în care cele patru „litere“ ale alfabetului ARN-ului pot fi traduse în cele 20 de litere ale alfabetului aminoacidului este folosirea combinaţiilor alfabetului mai scurt. Astfel, diferitele combinaţii ale celor patru litere ale ARN-ului codifică diferiţi aminoacizi. Dar câte litere sunt necesare pentru fiecare secvenţă de cod, denumită „codon“? Molecula de ARN este doar un şir de litere într-o ordine aparent aleatoare, deci nu există grupări evidente. Dimensiunea codonului a trebuit să fie determinată prin logică.

Dacă fiecare codon este format dintr-o combinaţie de două litere, ca AA, AG şi GU, atunci există 4 x 4 = 16 posibilităţi. Deoarece codul trebuie să specifice 20 de aminoacizi, nu este suficient. Dar dacă fiecare codon este format din combinaţii de trei litere, ca AAA, ACG şi GUA, obţinem 4 x 4 x 4 = 64 de posibilităţi, ceea ce este mai mult decât suficient. De aceea, codul genetic este redundant, având în medie circa trei (64 ÷ 20) codoni de trei litere pentru fiecare aminoacid.

SPIRALA DUBLĂ



SUS **Moleculele lungi de ADN sunt construite din perechi de şiruri spiralate de baze zahar-fosfat. Fiecare bază din şirul spiralat face parte dintr-o nucleotidă ce este legată de o nucleotidă complementară din cealaltă spirală, pentru a crea structura de elice dublă. Anumite baze se află întotdeauna în părţi opuse: adenina (A) face pereche cu timina (T); timina cu adenina; guanina (G) cu citozina (C) şi citozina cu guanina.**

Spirala dublă

În anul 1953, James Watson şi Francis Crick au descoperit structura ADN-ului. Se poate spune că este anul în care a început noua eră a biologiei moleculare şi a geneticii moleculare. Înainte de anul 1953, se ştia că ADN-ul, sau acidul dezoxiribonucleic, este alcătuit din unităţi numite dezoxiribonucleotide, fiecare având trei componente: un zahar care conţine cinci atomi de carbon numit dezoxiriboză, un grup fosfat şi o bază a azotului. Există patru dezoxiribonucleotide diferite, denumite pe scurt nucleotide, fiecare având grupări zahar şi fosfat identice, dar baze diferite. Ele sunt adenina, guanina, citozina şi timina. Ce nu se ştia era modul în care sunt aranjate în gene.

Watson şi Crick au dedus că ADN-ul din celule este format din două şiruri moleculare lungi, înfăşurate una în jurul celeilalte pentru a forma o elice dublă. Cele două şiruri helicoidale sunt conectate, ca treptele unei scări în spirală, prin legături slabe de hidrogen între anumite perechi de baze. Adenina de pe un şir este întotdeauna cuplată cu timina din celălalt, timina cu adenina, guanina cu citozina şi citozina cu guanina. Acest sistem complementar face ca secvenţa de baze de pe un şir să determine secvenţa de baze de pe celălalt.

Secvenţa liniară a bazelor din fiecare moleculă de ADN se comportă ca un cod al mesajului genetic, iar deoarece secvenţa de pe un şir al elicei determină secvenţa de pe celălalt şir, oferă un mecanism pentru reproducerea codului prin construirea de noi şiruri. Nişte enzime speciale,

numite polimeraze, desfac şirurile elicei duble în şiruri simple. Şirurile simple se unesc cu nucleotide libere care plutesc în lichidul ce înconjoară molecula, fiecare bază din şirul desfăcut unindu-se cu baza sa complementară. Grupurile zahar şi fosfat ale noii nucleotide se unesc apoi în şiruri elicoidale, astfel încât se formează molecule identice cu dublă elice, exact ca şi originalul.



STÂNGA **Fiecare individ are propriile caracteristici distinctive, care îl deosebesc de ceilalţi din aceeaşi specie. Aceste variaţii sunt create prin diferite secvenţe de ADN – unele moştenite, altele apărute spontan. Prin analizarea secvenţelor, biologii pot acum să urmărească procesul de evoluţie.**

Elucidarea structurii ADN-ului a oferit baza pentru înţelegerea uneia dintre caracteristicile cheie ale vieţii, aşa-numita forţă vitală ce permite moleculelor, genelor, celulelor şi organismelor să se multiplice. Dar în sine nu explica variaţia care oferă materia primă pentru selecţia naturală.

Transformarea ADN-ului în proteine

ADN-ul din gene este un set de instrucţiuni care direcţionează celula, asemănătoare unei mici fabrici, să producă mii de proteine necesare pentru structura şi funcţionarea organismului. Alfabetul cu patru litere al ADN-ului este tradus cumva într-un alfabet cu 20 de litere: cei 20 de aminoacizi care, în diferite secvenţe, alcătuiesc proteinele.

În procesul sintezei proteinelor, mesajul ADN-ului este mai întâi transcris într-un mesaj ARN. ARN-ul este foarte similar ADN-ului, dar componenta sa zaharică este riboza în locul dezoxiribozei, iar cele patru baze ale sale sunt adenina, citozina, guanina şi uracilul, care înlocuieşte timina şi formează pereche cu adenina din ADN.

În nucleul celulelor, elicea ADN-ului se desface ca pentru a se multiplica, însă în schimb adună nucleotidele ARN pentru a forma un singur şir de ARN mesager (pe scurt, mARN). Şirul de ARN mesager se detaşează şi transportă propria versiune a mesajului de patru litere a mesajului ADN în afara nucleului, în citoplasma înconjurătoare, ce conţine aminoacizi liberi. În timp ce elicea ADN-ului se reface din nou, mesajul ARN-ului mesager este folosit de organitele celulare numite ribozomi să construiască lanţurile lungi de aminoacizi care formează proteinele.

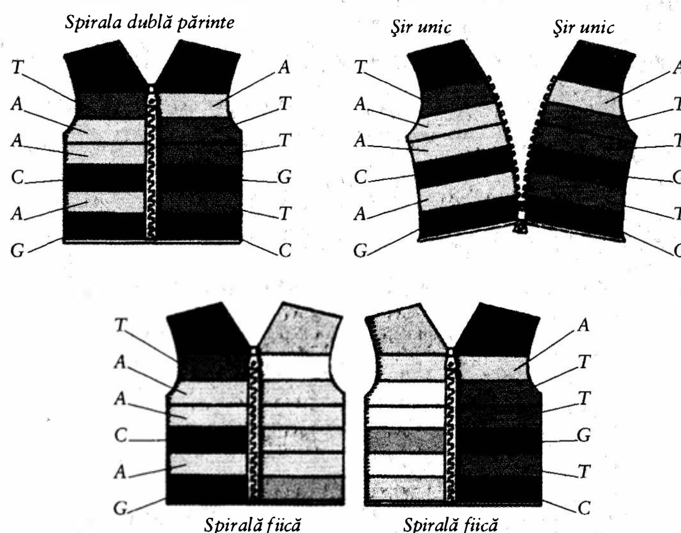
Modul exact în care alfabeturile de patru litere ale ADN-ului şi ale ARN-ului mesager sunt transformate în alfabetul de 20 de litere al aminoacidului a fost următorul mister ce avea să fie dezlegat după structura ADN-ului însuşi. A fost determinat pentru prima dată în anul 1960 de către Marshall Nirenberg.

Consecinţele acestor studii au fost incalculabile. Cunoaşterea codului genetic face posibilă determinarea motivelor bolilor genetice, precum maladia celulelor seceră şi fibroza chistică, boli provocate de alterări specifice ale secvenţelor de ADN din anumite gene. Diferite secvenţe de ADN sunt responsabile şi pentru variaţiile dintre indivizii aceleiaşi specii şi pentru diferenţele dintre specii. Analiza ADN-ului le-a permis biologilor să cuantifice aceste diferenţe, în loc de a se baza pe dovezile uneori superficiale ale formei şi funcţionării fiinţelor.

Descoperirea spiralei duble a ADN-ului a unificat biologia şi chimia. Începând cu marea iluminare produsă de descoperirea structurii şi multiplicării ADN-ului, cunoştinţele de biologie s-au extins rapid şi au devenit mai profunde.

JOS **Molecula de ADN seamănă cu două molecule unite. Când celulele se divid, ADN-ul se desface, iar cele două părţi se separă. Fiecare atrage apoi nucleotide libere şi construieşte o copie a fostei sale perechi pentru a crea două molecule ADN identice.**

Multiplicarea ADN-ului




PASĂRE CARE SE HRĂNEŞTE CU FRUCTE


PASĂRE CARE SE HRĂNEŞTE CU SEMINŢE

VARIAŢIILE

Darwin a înţeles că variaţia oferă fundamentul pentru schimbările evolutive. Fiecare individ dintr-o populaţie cu reproducere sexuată este unic, diferit în anumite privinţe de toţi ceilalţi. În condiţiile existente, unele variante sunt mai de succes decât altele din punctul de vedere al supravieţuirii şi al reproducerii. Astfel, natura selectează aceste variante şi le elimină pe celelalte. Numai indivizii selectaţi se reproduc, iar caracteristicile lor sunt de aceea îmbunătăţite în generaţii succesive. Darwin a emis ipoteza că acest proces ar fi putut produce, în lungi perioade de timp, varietatea de specii ce există pe Pământ în prezent.

Darwin a fost fascinat de enigma variabilităţii. A dedicat un întreg capitol din *Originea speciilor* legilor variaţiei, dar originea variaţiei a continuat să-l uimească toată viaţa. Fără să cunoască studiile lui Mendel, Darwin credea, la fel ca majoritatea contemporanilor săi, în combinarea moştenirilor – o combinaţie echilibrată, o medie a caracteristicilor ambilor părinţi preluată de copii. Mendel a fost primul care a arătat că trăsăturile moştenite, precum culoarea, dimensiunea şi forma sunt controlate de factori discreţi, nu sunt o combinaţie a ambilor părinţi. Sub forma cea mai simplă, acest lucru este exprimat în modul în care este determinat sexul: puiul unui mascul şi al unei femele este fie mascul fie femelă, nu o combinaţie a celor două sexe.


PASĂRE CARE SE HRĂNEŞTE CU INSECTE

De fapt, reproducerea sexuată s-a dovedit a avea un rol foarte important în menţinerea varietăţii speciilor, prin amestecarea genelor materne şi paterne, denumită recombinare. Amestecarea şi recombinarea genelor în fiecare generaţie menţine varietatea observată în natură. Garantează că urmaşii nu vor fi niciodată clone identice ale părinţilor şi că, exceptând gemenii identici, fraţii vor fi întotdeauna diferiţi unul de altul din punct de vedere genetic. Dar aceasta nu este singura sursă a variaţiei, deoarece materialul genetic moştenit este supus şi erorilor de codificare, denumite mutaţii.

MUTAŢIILE GENETICE: PUNCTUL DE VEDERE CLASIC

Cunoştinţele din genetică acumulate în secolul XX au explicat conexiunea dintre gene şi manifestarea exterioară a caracteristicilor. Dar până când nu a fost descifrat codul genetic şi nu a fost observată redundanţa codonilor, cantitatea de variaţie din ADN nu a putut fi evaluată complet. Acest potenţial s-a dovedit a fi mai mare decât se aprecia în timpul fazei clasice a cercetărilor din genetică, înainte de anul 1953.

Thomas Hunt Morgan – geneticianul care a condus primele experimente de reproducere încrucişată folosind musculiţa de oţet (*Drosophila*) – a adus o contribuţie considerabilă la cunoaşterea poziţiei genelor pe cromozomi şi a efectelor schimbărilor genetice.


PASĂRE CARE SE HRĂNEŞTE CU NUCI

El a început să studieze musculiţa de oţet în anul 1909. După un an şi un milion de musculiţe studiate, a observat apariţia bruscă a unei musculiţe cu ochii albi în loc de roşii, cum ar fi fost normal. El a încrucişat acest singur mascul cu surorile sale ce aveau ochii roşii. În prima generaţie, toţi urmaşii au avut ochii roşii, deci a arătat că ochii albi sunt o caracteristică recesivă. Din cei 3470 de urmaşi ai generaţiilor următoare, 782 erau masculi cu ochii albi, însă nicio femelă nu avea ochii albi. Astfel s-a demonstrat că ochii albi sunt o caracteristică legată de sex.

În anul 1905, s-a aflat că sexul este determinat de cromozomii X şi Y. Toate ovulele şi jumătate din spermatozoizi au un cromozom X. Morgan şi-a dat seama că la musculiţa de oţet, culoarea ochilor este înscrisă în cromozomul X, iar câteodată un mutant X poartă gena ochilor albi. Întrucât femelele au doi cromozomi X, iar culoarea roşie este dominantă, femelele au aproape întotdeauna ochii albi. Masculii au un X şi un Y, deci masculii care au X-ul mutant au ochii albi. Ochii albi nu erau singura mutaţie. Altă musculiţă mutantă avea corpul negru şi aripile nedezvoltate. Urmaşii obţinuţi prin încrucişarea acestei specii mutante cu cea normală au fost de două tipuri: jumătate erau negri şi aveau


PASĂRE CARE SE HRĂNEŞTE CU CACTUŞI

SUS ŞI DREAPTA **Varietatea diferitelor forme ale capului la cinteză ajută diferitele specii să exploateze diferitele tipuri de hrană. Darwin a înţeles că micile variaţii naturale în forma capului pot reprezenta baza noilor specii, dar nu a cunoscut explicaţia genetică a variaţiei.**

AMESTECAREA GENETICĂ

Există două tipuri de diviziune celulară: mitoza și meioza. Mitoza duce la formarea a două celule identice cu cea originală, iar acesta este mecanismul de bază al creșterii și vindecării. Meioza, care are loc în celulele organelor reproductive, duce la formarea a patru celule, fiecare dintre ele având jumătăți complementare din cromozomii celulei originale. În loc de a avea două seturi de cromozomi aranjați în perechi, cu o singură pereche moștenită de la mamă și una de la tată, celula sexuală (gametul) are numai un singur set.

În timpul meiozei, segmentele din fiecare pereche a cromozomului celulei originale sunt schimbate într-un proces denumit încrucișare (cross over), care amestecă genele materne și cele paterne. Astfel, cromozomul moștenit de la mamă dobândește material genetic de la cromozomul moștenit de la tată și invers. Acești cromozomi recombinați dau naștere apoi gameților – ovulele și spermatozoizii. Procesul face ca gameții să fie diferiți din punct de vedere genetic de celulele organismului și ca oricare doi gameți să nu fie identici.

Când gameții masculini și cei feminini se combină în timpul fecundării, este restabilit setul de cromozomi. Dar prin amestecarea materialului genetic, cromozomii din celula fecundată – zigotul – nu sunt aceiași cu cei ai părinților, iar deoarece câte unul din fiecare pereche de cromozomi este moștenit de la alt părinte, se creează și mai multe posibilități genetice. Potențialul variației este imens. Meioza este deci una dintre sursele principale ale variației genetice și una dintre forțele motrice ale evoluției. procesul meiozei în timpul reproducerii sexuate face ca la fiecare generație să fie introduse noi combinații genetice, permițând dezvoltarea rapidă a noilor caracteristici.



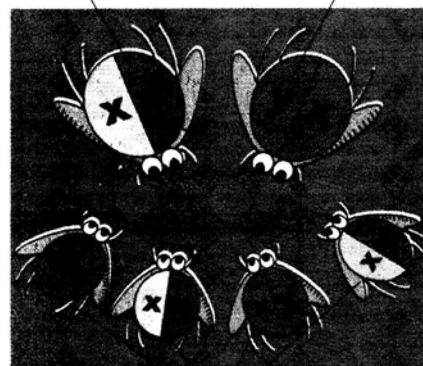
THOMAS HUNT MORGAN
1866–1945
Pionier al geneticii, Morgan și-a început cariera crezând că legile lui Mendel erau false. El a început să reproducă musculițele de oțet pentru a-și confirma convingerea, dar rezultatele pe care le-a obținut au arătat că Mendel avea dreptate. Totuși, rezultatele au demonstrat și că trăsăturile moștenite erau transmise prin cromozomi – o descoperire care l-a adus lui Morgan premiul Nobel.

aripile nedezvoltate, iar jumătate erau normali. Niciunul dintre ei nu era negru cu aripi normale, sau de culoare gri normală cu aripile nedezvoltate. Așa încât Morgan a dedus că genele pentru culoarea corpului și dimensiunea aripilor erau strâns legate una de alta, fiind aflate pe același cromozom, iar în timpul procesului de reproducere încrucișată aceste gene aveau tendința de a rămâne laolaltă. Cu cât două gene sunt mai îndepărtate, cu atât este mai probabil să se separe în reproducerea încrucișată și să nu fie legate.

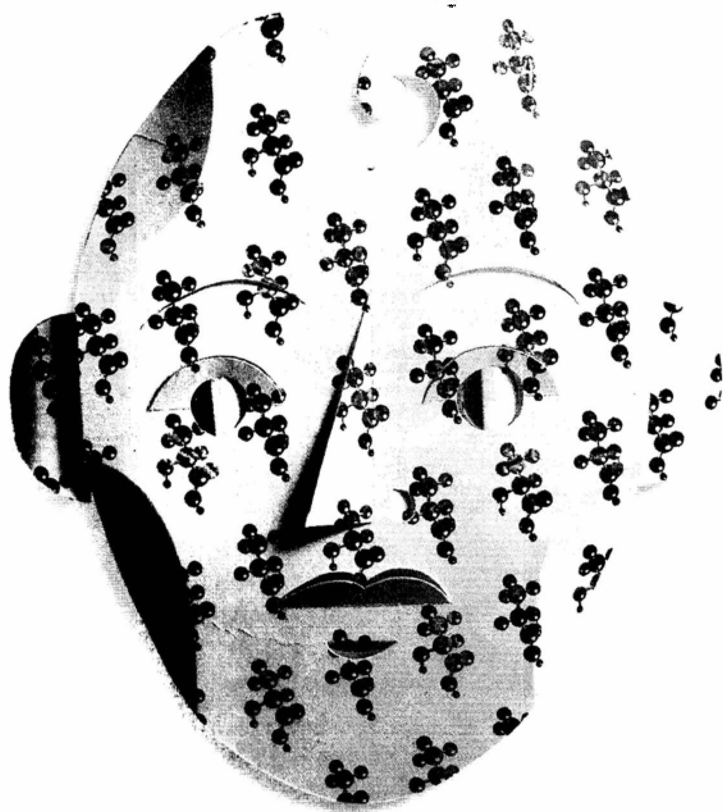
Așteptarea producerii mutațiilor spontane este un lungă și obositoare, chiar și la musculița de oțet care se reproduce atât de repede, iar la mamifere este și mai lentă. În anii 1920, Herman Muller a expus musculița de oțet la raze X și a observat că rata mutațiilor era de 100 de ori mai mare decât rata mutațiilor spontane. Cu cât era mai mare doza de radiații, cu atât era mai mare rata mutațiilor. De asemenea, cu cât rata era determinată mai curând după iradiere, cu atât era mai mare.

Se părea că majoritatea mutațiilor era dăunătoare pentru organism, iar numai uneori mutațiile erau benefice. Asemenea mutații benefice puteau duce la schimbări evolutive prin selecție naturală, însă mutațiile dăunătoare duceau de obicei la moarte din cauza iradierii.

EREDITATEA



DREAPTA **Transmiterea sexului la urmași este un exemplu simplu al modului în care funcționează ereditatea. Femela are doi cromozomi X, iar masculul are un X și un Y. Fiecare dintre cei doi părinți contribuie cu câte un cromozom la fiecare dintre copii, care moștenesc combinația XX sau combinația XY. Asta înseamnă că puiul este fie mascul, fie femelă, nicidecum o combinație a celor două sexe.**



SUS Fiecare celulă din corp conţine tot ADN-ul necesar pentru a construi un nou organism. Astfel, o celulă din nas, de exemplu, conţine programul pentru construirea ochilor, a urechilor şi chiar a creierului. Iată de ce savanţii pot folosi celulele dintr-o parte a corpului pentru a clona un întreg animal, cum ar fi o oaie sau chiar un om. Clonele sunt identice cu „părinţii" lor, deoarece nu a existat amestecare genetică sau mutaţii.

MUTAŢIILE NEUTRE

În anii 1960, studiile asupra codului genetic l-au determinat pe geneticianul Motoo Kimura să propună un punct de vedere radical şi foarte controversat asupra mutaţiilor: ideea că marea majoritate a mutaţiilor are un efect foarte redus sau niciun efect asupra organismului. În genetica clasică, mutaţiile se manifestau prin apariţia unei noi caracteristici, cum sunt ochii albi în locul celor roşii la musculiţa de oţet. La nivel molecular, conform noului punct de vedere, mutaţiile precum substituirea bazelor sau ştergerile, au loc tot timpul, dar aproape toate sunt mutaţii neutre, cu efect neglijabil sau inexistent asupra organismului.

Există mai multe tipuri de mutaţii neutre. Mai întâi, există mutaţii în ADN-ul necodificat care nu sunt traduse la proteine şi deci nu au efect asupra organismului gazdă. La eucariote, o proporţie 95-99 de procente din genom este format din ADN necodificat care nu este tradus în proteine.

În al doilea rând, există mutaţii „sinonime" în gene, cum ar fi o mutaţie a codonului ATT în ATC: ambele sunt traduse în aminoacidul valină, deci mutaţia nu are vreun impact chimic.

În al treilea rând, o mutaţie care schimbă un aminoacid poate avea un efect redus sau niciun efect asupra funcţionării proteinei. Fibrinopeptidele, de exemplu, sunt componente ale sângelui, care pur şi simplu acţionează ca şi distanţieri pentru a păstra suprafeţele moleculare lipicioase separate. Ele sunt descompuse şi reciclate la formarea cheagurilor de sânge. Aproape toţi aminoacizii le vor ajuta la fel de bine să-şi îndeplinească funcţia de spaţiere, deci genele fibrinopeptidelor pot accepta mai multe mutaţii decât majoritatea celorlalte gene.

Deci, în loc de aranjarea genetică fixă avută în vedere de geneticienii clasici, genoamele organismelor sunt un stup de activitate mutaţională – deşi cea mai mare parte a activităţii se desfăşoară în tăcere în interiorul celulei şi nu se manifestă în vreun fel.

În ce mod contribuie acest nou concept de variaţie bazată pe mutaţii neutre la dezvoltarea biologiei moderne? Oferă un mod de a stabili relaţii genetice care sunt foarte independente de morfologie – ştiinţa care studiază forma externă a organismului. Deci biologii pot explica foarte detaliat descendenţa cu ajutorul modificărilor, despre care vorbea Darwin.

MUTAŢIILE MOLECULARE

Codul genetic este format dintr-o serie de codoni din trei litere, iar fiecare se transformă într-un anumit aminoacid, folosit pentru a asambla o proteină. Dacă se produce o eroare în procesul de transcriere, astfel încât unul dintre codoni să conţină litere greşite, este posibil să fie construit un aminoacid nepotrivit în proteină. Această mutaţie moleculară se poate manifesta apoi ca mutaţie fizică, cum sunt cele care apar la musculiţele de oţet studiate în laborator, sau poate să nu aibă vreun efect, caz în care mutaţia este considerată neutră.

Unele mutaţii moleculare sunt simple substituţii, deci schimbă numai un codon. Dar dacă o literă lipseşte, se produce un efect în lanţ asupra tuturor codonilor consecutivi din rând. Îi schimbă pe toţi, iar efectele potenţiale sunt mult mai drastice. Adăugarea unei litere creează o situaţie similară. Asemenea mutaţii pot chiar distruge funcţionarea generală a unei proteine şi pot afecta chiar viabilitatea întregului organism.

ADN-UL NEFOLOSITOR

În bacterii, tot ADN-ul din genom se comportă ca un cod pentru producerea proteinelor. Dar la Archaea şi la eucariote – care includ toate organismele multicelulare – între 95 şi 99 la sută din ADN-ul genomului este necodat şi nu are funcţii evidente. Acesta este numit uneori ADN egoist, gunoi sau parazit deoarece foloseşte energie şi materiale multiplicându-se de la o generaţie la alta, aparent fără a-şi ajuta cu ceva gazda.

Lanţurile de ADN nefolositor care intervin în codificarea ADN-ului din şirurile moleculare se numesc introni, în timp ce segmentele codate care sunt exprimate ca proteine se numesc exoni. Intronii sunt importanţi pentru specialiştii în biologie moleculară deoarece poartă informaţii genetice care nu sunt subiectul selecţiei naturale. O mutaţie asupra unui exon poate avea efecte atât de dăunătoare asupra organismului, încât poate duce la moarte, însă o mutaţie asupra unui intron nu poate fi evaluată, deoarece nu se manifestă în vreun fel. Persistă generaţie după generaţie, iar acumularea unor asemenea mutaţii neutre se comportă ca o înregistrare a istoriei genetice a organismului.



CARL LINNAEUS
1707-1778
Crescut în sărăcie în Suedia, Linnaeus avea o înclinaţie pentru economie care s-a reflectat în abordarea sa ştiinţifică, concisă şi metodică. Sistemul său binomial pentru denumirea organismelor avea imprefecţiuni, dar logica perfectă şi adaptabilitatea i-au asigurat supravieţuirea.

ORDINE ÎN DIVERSITATE

Încă de pe vremea lui Aristotel (384-322 î.Hr.) adepţii filosofiei naturale au încercat să facă ordine în diversitatea naturii şi şi-au devotat o mare parte din timp şi energie pentru a realiza clasificări ale organismelor vii. Aceste clasificări se bazau în principal pe anatomie comparativă, iar scopul pe care îl aveau la bază s-a schimbat foarte mult de la o perioadă istorică la alta.

Aristotel a vrut să înţeleagă armonia naturii, în latină *scala naturae*. Scopul clasificării făcute de Carl Linnaeus (1707-1778) a fost completitudinea. Denumit părintele taxonomiei, Linnaeus a inventat clasificarea binomială a genurilor şi a speciilor pe care o folosim în prezent. Un animal cum este lupul cenuşiu are un nume ştiinţific compus din două părţi: *Canis lupus*. Cuvântul *lupus* este specific speciei din care face parte, dar cuvântul Canis se referă la genul căruia îi aparţine: un grup de fiinţe asemănătoare câinelui, care au aceleaşi caracteristici de bază cu ale lupului cenuşiu. Genul *Canis*, de exemplu, include coiotul, *Canis latrans*, şi şacalul auriu, *Canis aureus*.

Genul *Canis* este numai unul dintre multele genuri din familia *Canidae*, care include şi vulpile, ca vulpea roşcată, *Vulpes vulpes* şi vulpea arctică, *Alopex lagopus*. Canidele sunt una dintre cele 14



JOS **Aristotel a fost unul dintre primii care au făcut puţină ordine în haosul aparent al naturii – o ordine pe care Linnaeus a desăvârşit-o, Darwin a explicat-o, iar studiile moleculare moderne încep să o clarifice detaliat.**

familii din ordinul Carnivora – care include şi pisicile, nevăstuicile, urşii, ratonii, zibetele (animal din excrementele căruia se face cafea, n. trad.), hienele şi mangustele. Acest ordin face parte din clasa Mammalia (mamifere), care aparţin încrengăturii Chordata (vertebrate), care face parte din regnul Animalia (animalelor).

ORIGINILE VIEŢII

Nu se ştie exact cum a început viaţa, dar putem emite presupuneri în cunoştinţă de cauză. Înainte să ştim că ADN-ul, nu proteinele, sunt materia primă a vieţii, Stanley Miller de la Universitatea din California a făcut nişte experimente trecând fulgere de înaltă tensiune prin amestecuri de gaze şi de vapori, metan şi amoniac – amestec ce constituia versiunea sa de atmosferă primordială. El a reuşit să creeze unii dintre cei mai simpli aminoacizi, care sunt cărămizile de construcţie ale proteinelor. Nimeni nu a reuşit încă să producă ADN în acest mod, dar deoarece viaţa de pe Pământ de azi necesită o combinaţie de ADN şi enzime proteice pentru multiplicare, producerea aminoacizilor pare să fie una dintre piesele puzzle-ului originii vieţii.

Când Pământul s-a răcit destul pentru a permite formarea primelor roci, acum circa 3,8 miliarde de ani, viaţa apăruse deja, sub forma organismelor unicelulare. Fosilele microscopice din rocile străvechi ale Australiei şi ale Africii de Sud sunt foarte asemănătoare cu bacteriile moderne. Stromatolitele fosile care au peste trei miliarde de ani – marile covoare formate de cianobacteriile coloniale – sunt foarte asemănătoare celor care se înmulţesc în zona Shark Bay din Australia de Vest de azi.

Dovezile chimice arată că viaţa abunda în oceanele primordiale. Carbonul, elementul care defineşte viaţa organică pe planetă, este prezent sub forma a doi de izotopi stabili, carbon-12 şi carbon-13; acestea au comportament chimic identic, dar greutăţi uşor diferite. Când carbonul este preluat de celulele vii, este incorporată o cantitate puţin mai mare a izotopului mai uşor, având ca rezultat faptul că este posibilă deosebirea carbonului organic de cel anorganic prin faptul că este relativ sărac în carbon-13. Rocile cele mai timpurii sunt suficient de sărace în carbon-13 pentru a dovedi că viaţa a început de timpuriu în era hadeană, acum 4,6-3,8 miliarde de ani, când cea mai mare parte a crustei terestre era încă topită şi atmosfera era formată în cea mai mare parte din aburi fierbinţi.

Întregul sistem a fost iniţial conceput ca un mod de clasificare a tuturor organismelor cunoscute, iar locul fiecărui organism în schemă era determinat uneori într-un mod oarecum arbitrar. Asemănările fizice au jucat un rol important, acesta fiind motivul pentru care lupul şi coiotul sunt plasaţi în acelaşi gen. De fapt, aceasta este probabil o reflectare validă a relaţiei lor reale, deoarece era aproape sigur că aveau un strămoş comun în trecutul lor recent. Dar vulpea arctică şi vulpea roşcată au fost plasate în genuri diferite deoarece arătau atât de diferit, însă studiile moleculare arată acum că şi ele au un strămoş comun în trecutul recent. Deci vulpea arctică ar trebui probabil să fie redenumită *Vulpes lagopus*. Asemenea redenumiri taxonomice devin tot mai frecvente pe măsură ce studiile moleculare dezvăluie adevărata formă a Arborelui Vieţii. Linnaeus era obsedat de ideea de a include toate organismele cunoscute în schema sa, deşi, desigur, numai o mică parte din milioanele de specii cunoscute azi (totalul devine tot mai mare pe măsură ce sunt descoperite noi specii) erau cunoscute cu două secole în urmă. Pentru adepţii filosofiei naturale din secolul XIX care au venit după Linnaeus, clasificarea era un efort de a înţelege planul Marelui Creator al acestei lumi.



SUS Primii specialişti care au clasificat lumea naturală nu aveau în vedere vreun concept de înrudire prin strămoşii comuni. Ei pur şi simplu au grupat animalele şi plantele în genuri şi familii pe baza asemănărilor fizice. Dar după Darwin, aceste grupări au dobândit o nouă semnificaţie, ca părţi ale unui arbore al vieţii tot mai extins, toate pornind de la acelaşi trunchi de descendenţă comună.

Ideea lui Darwin a descendenţei comune a înlocuit scopul metafizic al clasificării cu un scop ştiinţific. Toate animalele erau înrudite, deoarece până la urmă, aveau aceiaşi strămoşi. Ca şi membrii unei mari familii, unele specii erau rude mai apropiate decât altele. Provocarea clasificării era de a construi arbori genealogici corecţi din punct de vedere istoric, care arată legăturile fiecărei specii cu speciile contemporane şi cu cele dispărute.

Arborii genealogici bazaţi pe descendenţa comună

Înainte de Darwin, nu exista conceptul de arbore genealogic, deoarece se credea că diferitele specii au fost create toate odată de forţele divine. De aceea, nu puteau fi considerate înrudite datorită părinţilor şi descendenţei comune. Animalele care arată la fel, precum calul, măgarul şi zebra, au fost încadrate în acelaşi gen, *Equus*, dar acest lucru nu a implicat o relaţie genetică. Era o clasificare de dragul convenienţei şi al denumirii.

După ce Darwin a emis ideea că toate speciile proveneau din unul sau câţiva strămoşi comuni, a reieşit că toate erau înrudite într-o anumită măsură: cu cât strămoşul comun era mai apropiat, cu atât relaţia de înrudire era mai apropiată. Din punctul de vedere evolutiv, descoperirea acestui arbore al vieţii şi a relaţiilor de rudenie dintre specii a devenit unul dintre scopurile cele mai importante ale biologiei. Darwin a desenat un asemenea arbore în unul dintre jurnalele sale cu însemnări pe le care ţinea încă din tinereţe. El prezintă un trunchi ancestral din care pornesc toare ramurile, devenind mai întâi variaţii ale speciilor părinte şi apoi transformându-se în noi specii.

Ernst Haeckel (1834-1919), contemporanul mai tânăr al lui Darwin a continuat, desenând un arbore precis al vieţii (era un artist talentat), în care a conectat toate grupurile cunoscute de plante şi animale pe baza concepţiei sale asupra descendenţei comune. Arborele lui Haeckel apare încă frecvent în manuale şi este în linii mari similar cu cele bazate pe datele curente.

Arborii lui Haeckel şi arborii genealogici desenaţi de cei care i-au urmat se bazau în general pe anatomie comparată şi embriologie. Înainte de descifrarea codului genetic, toate clasificările animalelor, plantelor şi ale microorganismelor se bazau obligatoriu pe morfologie (formă şi aspect) şi caracteristici comune, ca penajul şi dimensiunile, precum şi pe modelele sexuale şi reproductive.

Deoarece ADN-ul este materialul genetic propriu-zis, iar proteinele sunt codificate de ADN, arborii genealogici derivaţi din informaţiile despre ADN sau similitudini şi diferenţe ale proteinelor au reprezentat piatra de încercare a corectitudinii clasificărilor mai vechi. Datele moleculare oferă informaţii cantitative care sunt foarte independente de morfologie şi ajută astfel la clarificarea trăsăturilor morfologice ce reflectă într-adevăr descendenţa comună şi nu convergenţa evolutivă. Nu se poate spune că rezultatele au invalidat vechile clasificări, deoarece mulţi dintre taxonomişti şi-au făcut bine treaba, însă în mod cert au ajutat la crearea unei imagini mai clare asupra procesului evolutiv.



ERNST HAECKEL
1834-1919
Adept entuziast al lui Darwin, Haeckel uneori îşi scăpa entuziasmul de sub control, încercând să facă realitatea să se supună schemelor evolutive imaginate de el. Totuşi, a făcut foarte multe pentru a ajuta la acceptarea teoriei evolutive în Germania, atât de către zoologi, cât şi de către marele public..

Ser şi antiser

Au fost folosite mai multe metode diferite pentru obţinerea arborilor genealogici moleculari.

Cea mai veche, creată de G. H. F. Nuttall de la Universitatea Cambridge prin anul 1900, este denumită imunologia proteinelor. Când unui iepure îi este injectată o cantitate mică din serul unui animal, sistemul imunitar al iepurelui produce anticorpi care sunt foarte specifici, pentru legarea proteinei injectate. Când serul original este combinat cu acest antiser, combinaţia devine tulbure şi un precipitat proteic se depune pe fundul eprubetei. Dacă serul unei alte specii este amestecat cu acest antiser, se depune o cantitate mai mică de precipitat.

Cantitatea de precipitat indică relaţia evolutivă dintre cele două specii: cu cât sunt mai apropiate, cu atât se depune mai mult precipitat. De exemplu, reacţia încrucişată între antiserul de cal şi serul de măgar produce precipitat în abundenţă, dar nu la fel de mult ca în reacţia dintre antiserul şi serul de cal. Antiserul de cal amestecat cu cel de vacă produce foarte puţin precipitat deoarece cele două grupuri sunt înrudite pe departe. Antiserul de cal amestecat cu serul de peşte nu produce precipitat, deoarece înrudirea este şi mai îndepărtată.

Nuttall a descoperit astfel relaţiile dintre mai multe mii de specii de vertebrate, inclusiv înrudirea apropiată dintre oameni şi maimuţele antropoide. Totuşi, semnificaţia rezultatelor pe care le-a obţinut nu a fost apreciată la adevărata sa valoare în acea perioadă, deoarece nu erau cunoscute structura proteinelor, a anticorpilor şi a genelor. Abia acum, când sunt cunoscute aceste relaţii biochimice, putem aprecia descoperirile lui Nuttall.

DEZVOLTAREA ŞI PLANUL ORGANISMULUI: HOMEOBOX-UL

arl Baer, fondatorul embriologiei, şi Ernst Haeckel au fost impresionaţi de modul în care seamănă între ele primele stadii embrionare ale grupurilor de animale precum peştii, amfibienii, reptilele, păsările şi mamiferele. Embrionii mamiferelor au chiar arcade pentru branhii, la fel ca strămoşii lor, peştii! Aceste observaţii au dus la noţiunea de recapitulare – conform căreia embrionul, în câteva săptămâni sau luni, trece prin toate stadiile evolutive prin care au trecut strămoşii lui timp de milioane de ani. Haeckel a sumarizat acest principiu în fraza „Ontogenia recapitulează filogenia".

Dictonul a fost atacat în epoca modernă ca fiind o simplificare grosieră a procesului complex al creşterii şi dezvoltării embriologice, dar sâmburele său de adevăr a fost justificat de descoperirea recentă a genelor homeobox, care sunt un ghid al planului organismului pentru o serie largă de animale.

Zoologul francez Geoffroy Saint-Hilaire credea că toate animalele au acelaşi plan de bază al organismului. Totuşi, la insecte coloana nervoasă principală se află în faţa organelor interne, în timp ce la vertebrate măduva spinării este în partea din spate. Astfel, Saint-Hilaire a dedus cu îndrăzneală că vertebratele sunt de fapt insecte aşezate cu susul în jos! Oricât de incredibil ar suna, această idee a fost şi ea susţinută de descoperirile recente.



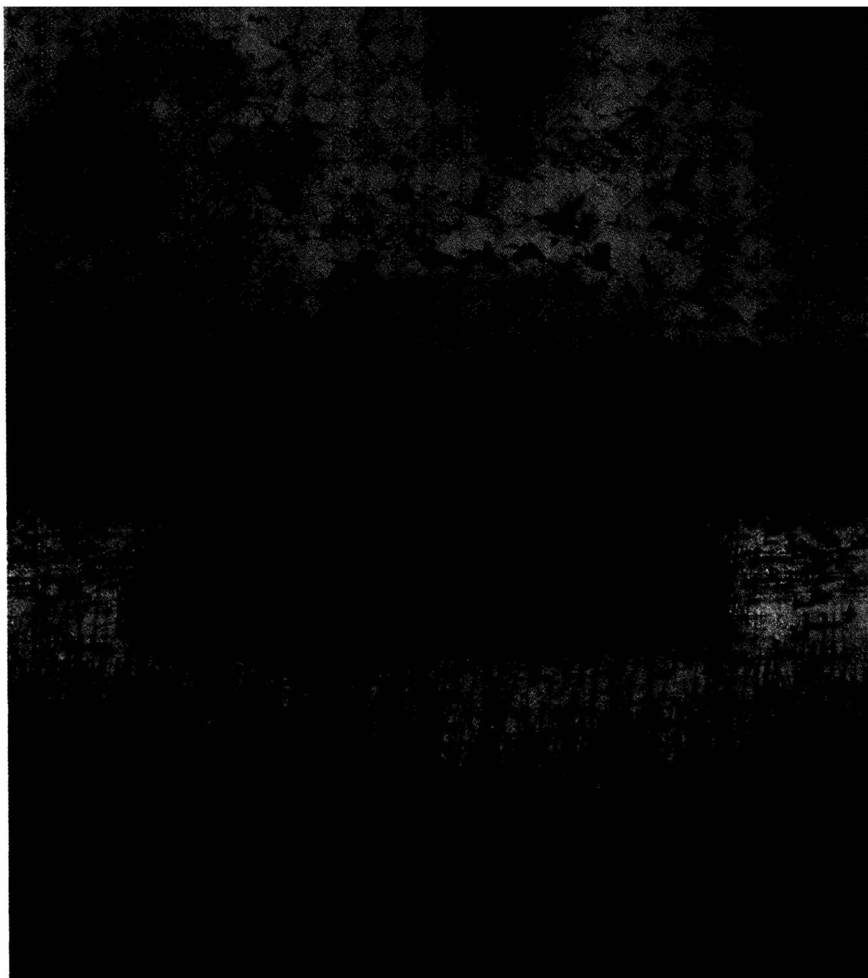
SUS O genă precum bithorax-ul poate duce la mutaţii în organismul musculiţei de oţet – cum ar fi o pereche de aripi în plus şi toracele dublu.

Insectele au corpul format din trei segmente: capul, toracele şi abdomenul. În anii 1940, biologul american Edward B. Lewis a început să studieze genele care afectează segmentarea musculiţei de oţet, *Drosophila melanogaster*, care era de mult timp un animal favorit al studiilor de laborator. *Drosophila* se reproduce rapid, are numai patru cromozomi şi manifestă multe mutaţii prin încrucişare selectivă sau prin expunerea la razele X. Lewis a studiat o mutaţie care cauza o duplicare a toracelui şi apariţia a încă unei perechi de aripi. Gena în care se producea această mutaţie a fost denumită bithorax (= torace dublu). Deoarece sute de gene participă la formarea unui segment al corpului şi a aripilor, Lewis a dedus că bithorax era o genă master, capabilă de activarea şi dezactivarea celorlalte.

În anii 1970, doi biologi germani, Christiane Nüsslein-Volhard şi Eric F. Wieschaus, au descoperit că cele zece gene ce controlează dezvoltarea musculiţei de oţet, genele homeotice, sunt aliniate pe unul dintre cromozomii săi în aceeaşi ordine de la început la sfârşit ca şi părţile corpului pe care le controlează. Mai mult, când aceste gene au fost secvenţiate, toate aveau un segment ADN aproape identic de 180 de perechi de bază, care se translatează într-o secvenţă proteică de 60 de aminoacizi. Segmentul ADN este numit homeobox, iar proteina este numită homeodomeniu.

Secvenţa homeobox este cheia de bază către misterul dezvoltării. Proteina homeodomeniu se leagă de ADN-ul celular şi activează sau dezactivează procesul de transcriere, primul pas în producerea proteinelor care controlează creşterea şi dezvoltarea organismului. Circa zece gene similare cu homeobox (hox) se regăsesc în aproape toate animalele multicelulare. Astfel, genele hox determină în final forma, dimensiunea, structura şi aspectul tuturor animalelor, iar genele hox au fost decoperite recent în plante şi în organismele unicelulare din drojdia de bere. Pentru munca lor de a studia aceste gene, Lewis, Nüsslein-Volhard şi Wieschaus au primit în anul 1995 premiul Nobel pentru fiziologie sau medicină. În timp ce artropodele, inclusiv insectele, au circa zece gene hox aliniate pe un singur cromozom, vertebratele, cum sunt peştii, păsările şi mamiferele au patru rânduri de câte zece, pe patru cromozomi diferiţi. Evident, cromozomul nevertebratelor pe care se află genele hox s-a duplicat de două ori în timpul evoluţiei care a dus la apariţia vertebratelor. Rândurile de gene hox de pe diferiţii cromozomi au marcat similarităţi ale secvenţelor între ele şi cu genele hox ale nevertebratelor. Ca şi la musculiţa de oţet, genele hox ale vertebratelor sunt aliniate în ordinea regiunilor din organism pe care le controlează, gena din faţă controlând capul şi aşa mai departe. Genele hox sunt sculptori moleculari care determină apariţia formelor embrionare similare care i-au intrigat atât de mult pe Baer şi Haeckel, cu peste o sută de ani în urmă. Un set foarte mic de gene înrudite sunt aproape sigur replici ale unei singure gene ce a existat în eucariotele unicelulare cu peste un miliard de ani în urmă. Aceste gene hox determină formele fizice ale minunatei varietăţi a organismelor vii care alcătuiesc lumea.

Conjectura bizară a lui Saint-Hilaire conform căreia vertebratele ar fi insecte întoarse cu susul în jos este şi ea dovedită. Gena homeotică ce, la o nevertebrată, determină pe ce parte va fi abdomenul, determină şi pe care parte se va afla spatele unei vertebrate. Pentru misterul genomului, care abia acum este explorat la fel cum erau explorate jungelele tropicale în secolul XIX, realitatea este mult mai ciudată decât îşi poate imagina vreun biolog.



SUS De când Darwin a început să analizeze originea cintezelor de Galapagos, variatele adaptări ale păsărilor au oferit biologilor exemple spectaculoase ale evoluţiei în acţiune. Totuşi, adevăratele relaţii dintre diferitele grupuri de păsări au fost mascate adesea de adaptarea lor la acelaşi stil de viaţă, şi sunt dezvăluite numai de cercetările moleculare.

ORTOGENEZA

Haeckel a considerat că dezvoltarea vieţii în timp a avut o desfăşurare inevitabilă, la fel cu dezvoltarea embrionului pentru a deveni adult. El nu a acceptat ideea naturii aleatorii a selecţiei naturale. În schimb, credea că evoluţia a trecut de la formele de viaţă inferioare la cele superioare, având omenirea în vârful arborelui evolutiv. Această noţiune de progres evolutiv imevitabil de la formele inferioare la cele superioare, denumită ortogeneză, este chiar şi în prezent o prejudecată frecventă.

FERMOARE CU GOLURI

În anii 1970 a fost dezvoltată o tehnică numită hibridizare ADN, ce a permis compararea directă a genomului (a întregului material genetic) a două sau mai multe specii. Când ADN-ul extras din întregul nucleu al celulei este încălzit în soluţie, legăturile de hidrogen care ţin laolaltă cele două şiruri elicoidale sunt rupte, iar spirala dublă se desface în două şiruri separate. Şirurile separate provenite de la două specii diferite pot fi apoi amestecate şi, pe măsură ce soluţia se răceşte, unele dintre elicele duble nou-formate vor fi hibrizi care au câte un şir al moleculelor de ADN de la ambele specii.

Când soluţia este reîncălzită, elicele duble ale hibridului se separă la o temperatură mai joasă decât în cazul spiralelor originale, deoarece nu toate bazele aliniate pe un şir au baze complementare pe şirul opus. Hibrizii se comportă precum fermoarele care au dinţi lipsă – goluri ce corespund diferenţelor genetice dintre cele două specii. O diferenţă de 1°C în temperatura de topire corespunde unei diferenţe de circa un procent.

Charles Sibley şi Jon Ahlquist au efectuat hibridizări ale ADN-ului pe mii de păsări şi au descoperit că numeroase grupuri de păsări despre care se credea că sunt înrudite, datorită aspectului lor foarte asemănător, sunt de fapt foarte diferite din punctul de vedere al ADN-ului. Asta înseamnă că asemănările fizice sunt datorate mai degrabă evoluţiei convergente decât descendenţei comune.

De exemplu, se credea că vulturii din Lumea Nouă şi cei din Lumea Veche erau foarte înrudiţi, dar ADN-ul lor a arătat că vulturii din Lumea Nouă sunt mai înrudiţi cu berzele. Se credea că graurii erau înrudiţi cu ciorile, dar ADN-ul lor a arătat că sunt fraţi cu mierla americană. Experţii aveau păreri împărţite despre bufniţe, despre care unii credeau că sunt înrudite cu păsările de pradă diurne, ca şoimii, în timp ce alţii bănuiau o înrudire cu caprimulgii. ADN-ul le plasează în familia celor din urmă.



STÂNGA Bufniţele sunt considerate adesea ca fiind şoimi sau vulturi de noapte, aşa încât puteţi presupune că sunt înrudite. Dar cercetările asupra ADN-ului lor arată că au strămoşi foarte diferiţi şi că de fapt sunt înrudite cu caprimulgii. Au evoluat în mod similar şoimilor şi vulturilor nocturni deoarece viaţa le-a pus probleme similare, pe care au trebuit să le rezolve.

Sunt liliecii primate zburătoare?

Liliecii (familia Chiroptera) sunt singurul grup de mamifere zburătoare, iar toţi liliecii au multe caracteristici anatomice comune, cum sunt aripile adaptate din mâini ancestrale. Este logic să deducem că o adaptare atât de complexă a evoluat numai o dată, iar toate speciile de liliac sunt mai înrudite între ele decât cu orice alt grup de mamifere ne-zburătoare.

Totuşi, acest punct de vedere tradiţional a fost pus sub semnul întrebării de neuroanatomistul J. D. Pettigrew, care a observat similarităţi la nervii ochiului şi în mezencefalul liliecilor mari sau la vulpile zburătoare (megachiropterele) şi la primatele cum sunt maimuţele. Liliecii mici (microchiropterele) păreau să nu aibă aceste conexiuni nervoase.



Micii lilieci ce se hrănesc cu insecte au multe adaptări pe care nu le au verii lor mai mari ce se hrănesc cu fructe, vulpile zburătoare. Acest lucru a produs confuzie privind originile lor, ducând şi la apariţia sugestiei că liliacul mare este înrudit mai îndeaproape cu maimuţa. Însă dovezile anatomice nu sunt concludente, din cauza schimbărilor care se pot produce prin evoluţie.

De aceea, Pettigrew a enunţat ideea că megachiropterele sunt înrudite mai îndeaproape cu primatele decât cu microchiropterele. Dacă avea dreptate, însemna că toate caracteristicile structurii aripii şi cele care facilitau zborul la liliecii mari şi la cei mici evoluaseră independent, din strămoşi diferiţi.

Pentru a rezolva această controversă, au fost comparate secvenţele de nucleotide a trei molecule diferite: ARN-ul ribozomial, ADN-ul mitocondrial şi gena etaglobinei nucleare, una dintre multele gene ale hemoglobinei. Toate cele trei secvenţe au susţinut ideea tradiţională a înrudirii liliecilor mari cu liliecii mici şi niciuna nu a confirmat relaţia postulată de Pettigrew dintre megachiroptere şi primate. Comparaţiile imunologice ale albuminei liliecilor mari şi liliecilor mici erau şi ele favorabile punctului de vedere tradiţional.

Acesta este numai unul dintre multele exemple în care arborele genealogic molecular, derivat din diferite gene sau proteine, şi cel descoperit de diferiţi cercetători nu erau în contradicţie, în timp ce arborii genealogici bazaţi pe morfologie, ce subliniau caracteristicile anatomice selectate ajungeau la concluzii foarte divergente.

O a treia formă de viaţă

Ribozomii sunt organitele celulelor care translatează ARN-ul mesager în proteine. De fapt, ribozomii sunt alcătuiţi din ARN şi proteine. Acest ARN ribozomial este remarcabil de stabil, indicând relativ puţine diferenţe mutaţionale între specii timp de sute de milioane de ani distanţă faţă de strămoşul lor comun. Structura exactă a ARN-ului ribozomial este vitală pentru procesul de transcriere din ribozomi, iar astfel cele mai multe mutaţii ar interfera cu transcrierea. Stabilitatea relativă a ARN-ului ribozomial îi permite să fie folosit la examinarea relaţiilor genetice ale organismelor care după aspect nu par să fie deloc înrudite. Începând din anii 1960, C. R. Woese a comparat secvenţele de ARN ribozomial ale bacteriilor şi ale organismelor superioare. În acea perioadă, biologii împărţeau lumea vie în două: procariotele, ale căror celule nu aveau nucleu, şi eucariotele, ale căror celule aveau nucleu. Procariotele erau numai bacterii. Eucariotele sunt toate celelalte fiinţe, precum ciupercile, plantele verzi, animalele şi protistele (organisme unicelulare având nucleul foarte mare).

Compând ARN-ului ribozomial al diferitelor tipuri de bacterii, Woese şi colaboratorii lui au făcut o descoperire total neaşteptată. Unele bacterii neobişnuite care trăiesc în medii extreme – fie fără oxigen, la concentraţii saline ridicate, la temperaturi înalte, sau care generează metan în loc de dioxid de carbon – erau la fel de diferite de bacteriile normale, ca bacteriile de eucariote. Deci în loc de a fi divizată în două părţi mari, lumea vie a fost împărţită în trei: eucariote, bacterii şi bacteriile neobişnuite asemănătoare organismelor pe care Woese le-a numit arheobacterii, iar acum sunt numite Archaea. Doarece bacteriile şi Archaea arată asemănător la microscop, unul dintre regnurile vii importante de pe Pământ fusese complet trecut cu vederea timp de secole!

LUMEA ARN-ULUI

Deşi toate celulele vii depind de procese ce implică ADN-ul, ARN-ul şi proteinele, numeroşi viruşi au ca ingredient activ ARN-ul în loc de ADN. La mijlocul anilor 1980 s-a descoperit că ARN-ul, spre deosebire de ADN, poate îndeplini şi anumite funcţii enzimatice necesare pentru multiplicare, ce în principiu ar putea face ca proteinele să nu fie necesare. Astfel, cei preocupaţi de originea vieţii au speculat că o lume mai simplă, a ARN-ului, a precedat lumea ADN-ului şi a proteinelor, în care trăim acum.

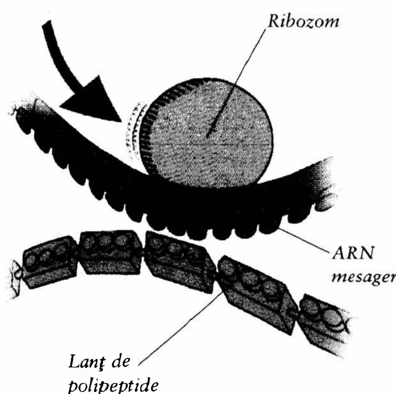
ARN-ul se putea multiplica şi putea evolua fără proteine specializate. De fapt, viruşii pe bază de ARN, cum este şi virusul imunodeficienţei umane (HIV) care provoacă SIDA, evoluează cu o viteză de un milion mai mare decât ADN-ul nuclear. Aceşti retroviruşi inversează procesul celular normal de transcriere a ADN-ului în ARN: ei se multiplică prin transcrierea ARN-ului în ADN, care apoi deturnează mecanismul celular spre a produce şi mai mult ARN viral.

De aceea este uşor de imaginat un scenariu în care un fulger care a străbătut atmosfera hadeană plină de aburi de amoniac a produs câteva lanţuri de ARN, care apoi au continuat să se multiplice în lutul mareic călduţ. Până la urmă, organismele în evoluţie bazate pe ARN şi cele asemănătoare viruşilor au reuşit să transcrie ADN, care era un replicator mult mai eficient şi care şi-a întrecut părintele, ARN-ul.

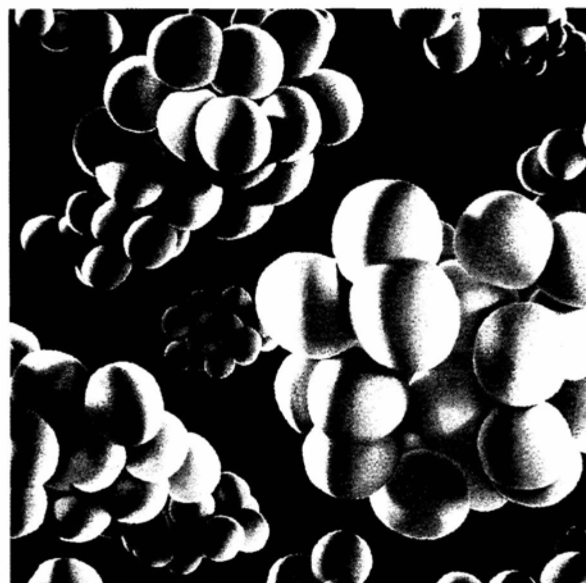
În prezent, această poveste a lumii ARN-ului este pur speculativă, dar poate vom avea norocul de a găsi dovezi fosile biochimice ale lumii ARN-ului – o comunitate care, ca şi Atlantida, putea să fi existat cândva, dar acum este pierdută sub mare. Nu au fost identificaţi descendenţii locuitorilor Atlantidei, dar avem milioane de specii de organisme bazate pe ADN şi pe ARN pe această a treia planetă a unei stele de dimensiuni medii.

În acele emanaţii planetare, cu patru miliarde de ani în urmă se pregăteau să apară nişte forme de viaţă, mai bine zis, nişte forme de viaţă primitive, iar din câte ştim (sau nu ştim) în prezent, ARN-ul este cea mai probabilă dintre ele.

ARN-UL MESAGER



STÂNGA **ARN-ul (acidul ribonucleic) este la fel de important ca ADN-ul. ARN-ul mesager conţine instrucţiunile de creare a proteinelor care, la rândul lor, sunt necesare organismului pentru a supravieţui. El este folosit de organitele celulare numite ribozomi pentru a construi lanţurile lungi de amimoacizi care formează aceste proteine.**



SUS **Cele mai simple forme de viaţă sunt bacteriile şi Archaea: organisme unicelulare fără nucleu, denumite procariote.**

Sunt tot mai multe dovezi moleculare că eucariotele sunt înrudite îndeaproape cu Archaea decât cu bacteriile. Altfel spus, noi, oamenii suntem mai înrudiţi cu Archaea decât este Archaea cu bacteriile. Asta în ciuda faptului că ambele tipuri de microorganisme sunt unicelulare şi nu au nucleu, iar noi suntem eucariote multicelulare cu creier mare – auto-intitulaţi Stăpânii Lumii. Acesta este numai unul dintre multele puncte de vedere bizare asupra vieţii are au reieşit din explorarea moleculară a genomului.

Bacteriile oferă cea mai importantă ilustrare a insuficienţei morfologiei pentru construirea arborilor genealogici. Bacteriile sunt cam de aceeaşi dimensiune şi pot lua numai câteva forme diferite, în general sfere (coci) sau cilindri (bacili). Acestea se pot grupa în variate modele: streptococii tind să formeze lanţuri liniare, stafilococii formează grupe ca nişte ciorchini. Deci nimic din aspectul lor nu le indica taxonomilor cum se înrudesc între ele zecile de mii de specii vii, iar înainte de studiile lui Woese, nimeni nu avea idee că Archaea era a treia formă de viaţă.

Povestiri despre balene

Originile şi relaţiile dintre balene, delfini şi delfinii bruni – cetacee – au nedumerit întotdeauna biologii. Aceste mamifere cu sânge cald, inteligente şi sociabile sunt atât de bine adaptate la mediul lor acvatic încât, din punct de vedere anatomic, ele oferă foarte puţine indicii asupra afinităţilor lor evolutive cu străvechile animale de uscat. Specialiştii în anatomie comparată şi paleontologii au sugerat că există o legătură între cetacee şi artiodactili, mamiferele având picioarele cu două degete, idee susţinută de cercetările genetice. Artiodactilii şi cetaceele formează acum un supraordin separat de mamifere, denumit *Cetartiodactyla.*



STÂNGA **Dreoarece rechinii şi delfinii sunt foarte asemănători ca înfăţişare şi culori, oamenii credeau că erau înrudiţi, dar de fapt delfinii sunt înrudiţi cu balenele.**

Prima dovadă moleculară a unei relaţii apropiate între cetacee şi artiodactili a fost descoperită în anii 1960. Legătura a fost sugerată mai întâi de imunologie, confirmată în anii 1980 de datele din secvenţele proteice, apoi susţinută cu putere în anii 1990 de secvenţele de ADN mitocondrial. Artiodactilii includ mai multe subgrupe diferite: porcii, cămilele, hipopotamii şi rumegătoarele (cum sunt girafele, vacile, gazelele şi căprioarele). De fapt, ADN-ul şi studiile imunologice arată că cetaceele sunt ceva mai apropiate ca înrudire de hipopotami decât de celelalte grupe. Hipopotamii ar fi nişte strămoşi potriviţi pentru cetacee, deoarece sunt deja semiacvatici, având picioare scurte şi nări care au „migrat“ în sus.

În mod tradiţional, cetaceele au fost împărţite în două grupe: odontocetele, care au dinţi şi folosesc ecolocaţia, şi misticetele, fără dinţi dar cu fanoane. Odontocetele includ delfinii, delfinii bruni şi caşaloţii; misticetele includ balenele cu fanoane (balena cu cocoaşă, balena arctică, eubalena, balena cenuşie, balena albastră, balena brăzdată, balena boreală şi balena Minki). Dar analiza secvenţelor de ARN şi de ADN a pus sub semnul întrebării această clasificare tradiţională, aducând caşalotul – deşi este un ecolocator cu dinţi – mai aproape de balenele cu fanoane decât de delfini şi de delfinii bruni.

Acest arbore genealogic revizuit ar implica faptul că strămoşul comun al odontocetelor şi al misticetelor a fost un ecolocator cu dinţi, iar dinţii şi capacitatea de ecolocaţie au fost pierdute de către balenele cu fanoane, însă păstrate de caşaloţi.

Ceasurile moleculare

În anii 1960, au devenit disponibile tehnici de obţinere a secvenţelor de aminoacizi ale proteinelor. Secvenţele au permis cercetătorilor să determine diferenţele dintre aminoacizii unei anumite proteine la două sau mai multe specii. În consecinţă, Emile Zuckerkandl şi Linus Pauling au secvenţiat hemoglobina – pigmentul roşu al sângelui – de la numeroase specii de vertebrate. Ei au observat că numărul aminoacizilor care erau diferiţi la orice două specii părea să fie proporţional cu timpul scurs de la apariţia celor două specii dintr-un strămoş comun, aşa cum era estimat din înregistrările fosile. Ei au fost primii care au bănuit că vitezele de producere a mutaţiilor pot servi drept ceasuri moleculare, oferind o metodă de estimare a vârstei speciilor, care este destul de independentă de înregistrările fosile.



STÂNGA **Analiza ADN-ului arată că rudele cele mai apropiate de pe uscat ale delfinilor şi ale balenelor ar putea fi hipopotamii. Având în vedere stilul lor de viaţă acvatic, acest lucru nu este surprinzător, dar ei au parcurs un drum lung înainte de a dobândi graţia şi eficienţa verilor lor marini.**

Ideea că moleculele biologice, ca proteinele şi ADN-ul, ar putea trece prin mutaţii la intervale oarecum regulate în perioade lungi de timp – în zeci sau sute de milioane de ani – era total neaşteptată

BACTERII, ARCHAEA ȘI EUCARIOTE

Din înregistrările fosile, se pare că bacteriile sau Archaea au stăpânit Pământul circa trei miliarde de ani după apariția vieții. Ambele sunt procariote, adică le lipsesc nucleul celular și organitele din interiorul membranei, iar informațiile lor genetice iau forma unei singure molecule circulare de ADN aflată în citoplasmă. În bacterii, genele sunt ambalate strâns, fără să intervină secvențe (introni) de ADN necodificat. Archaea au niște introni, iar din acest punct de vedere sunt mai asemănătoare eucariotelor decât bacteriile.

Primele procariote microfosile cunoscute, datând de acum 3,5 miliarde de ani, seamănă ca formă și comportare cu cianobacteriile moderne care fac fotosinteză. Asta înseamnă că forma lor de bază a rămas neschimbată timp de miliarde de ani. Între timp, dovezile oferite de ceasurile moleculare au arătat că, probabil, bacteriile și Archaea s-au diferențiat ca specii acum circa 2,5 miliarde de ani.

Eucariotele sunt mult mai mari decât procariotele și au nucleu cu membrană. Circa jumătate dintre genele bacteriei intens studiate Escherichia coli se potrivesc cu genele găsite la eucariote. Deci eucariotele trebuie să fi derivat din strămoși care erau procariote.

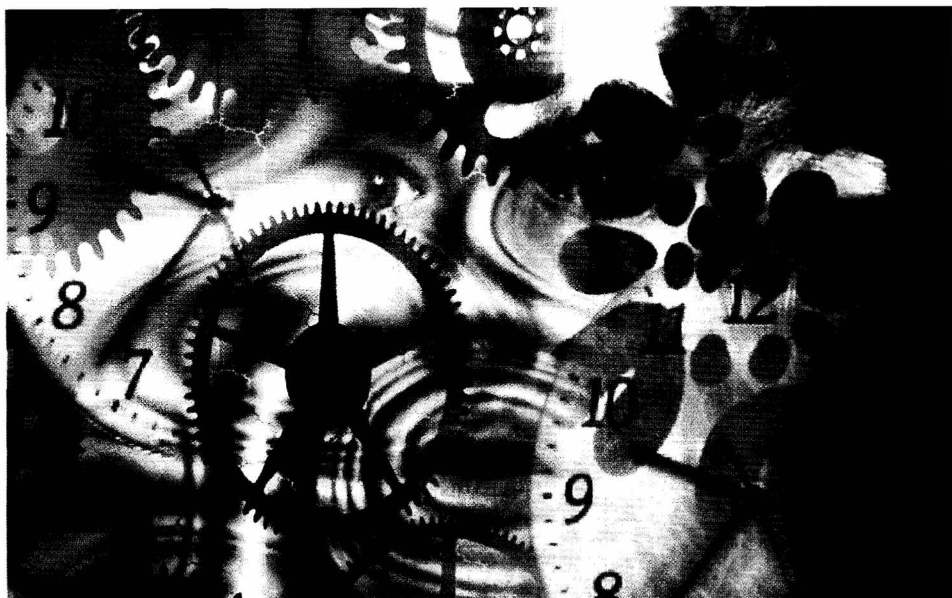
Aproape toate eucariotele sunt compuși simbiotici, fiecare fiind alcătuită dintr-o mare celulă eucariotă, cu numeroase mitocondrii derivate din bacterii și – la plante – cloroplaste. Comparațiile secvențelor moleculare arată că mitocondriile sunt descendentele unei anumite linii de bacterii numite alfa-proteobacterii, iar cloroplastele sunt descendentele cianobacteriilor care fac fotosinteză. Aceste organite au fost dobândite într-un stadiu incipient al evoluției eucariote, iar câteva eucariote primitive, cum sunt protistul parazit Giardia, care au derivat foarte timpuriu din eucariote, nu le au. Importanța lor pentru natura vieții pe Pământ este fundamentală, deoarece mitocondriile furnizează energie celulei prin utilizarea oxigenului, iar cloroplastele conțin clorofila care transformă energia Soarelui în molecule de zahăr.



SUS **Cercetările asupra ADN-ului au arătat că există o relație între cetacee și artiodactile, ceea ce înseamnă că există o legătură pe de o parte între balene, delfini delfinii bruni, și între vaci, porci și hipopotami pe de altă parte.**

înainte de mijlocul anilor 1960. Cercetările a patru tipuri de molecule proteice – hemoglobinele, histonele, c-citocromele şi fibrinopeptidele – au arătat că aceste molecule s-au schimbat cu viteze regulate în perioade lungi de timp, dar viteza schimbării fiecărei proteine este foarte diferită.

R. F. Doolittle a obţinut arbori genealogici prin compararea secvenţelor de aminoacizi ale fibrinopeptidelor. Ca şi hemoglobinele, fibrinopeptidele au o rată a schimbării destul de constantă, dar arborii genealogici ai copitatelor (bovine, căprioare şi alte animale asemănătoare) şi ai altor vertebrate au arătat că fibrinopeptidele acumulează mutaţii mai rapid decât hemoglobinele în aceleaşi perioade de timp evolutive. Comparaţiile cu alte proteine au arătat diferenţe dramatice. Fibrinopeptidele sunt supuse substituţiilor de aminoacizi la viteze de 900 de ori mai mari decât histonele, de exemplu. Deci aceste biomolecule se comportă mai degrabă ca izotopii radioactivi folosiţi la datarea rocilor, care au viteze de înjumătăţire diferite, în funcţie de structurile lor nucleare. Cercetării evoluţiei au înţeles repede că dacă ceasurile moleculare erau cât de cât precise, ar fi o descoperire la fel de importantă pentru înţelegerea evoluţiei ca şi izotopii radioactivi pentru datarea straturilor geologice.



SUS **Descoperirea ceasului molecular în anii 1960 le-a permis biologilor să estimeze când au apărut speciile, oferind astfel mai multe informaţii despre procesul evolutiv.**

Cum funcţionează ceasurile moleculare?

Încă există controverse asupra motivelor pentru care biomoleculele se comportă ca nişte ceasuri, a preciziei lor şi a modului în care factorii – precum vârsta generaţiei şi sexul – afectează viteza cu care funcţionează.

Este un fapt general acceptat că motivul pentru care ceasurile moleculare funcţionează este că marea majoritate a mutaţiilor este neutră şi, din câte se pare, nu au vreun efect semnificativ asupra descendenţilor individuali. În 95-99 la sută din genomul eucariot, care este alcătuit din ADN necodificat, rata mutaţiilor este de cinci-zece ori mai rapidă decât este în acel procent care codifică proteinele. Teoretic, toate mutaţiile necodificate sunt neutre – în sensul că nu schimbă caracteristicile fizice ale organismului – în timp ce unele, dar nu toate mutaţiile din gene au efecte dăunătoare şi de aceea sunt eliminate în timp.

Chiar şi în genele care codifică proteinele, multe mutaţii sunt „silenţioase". O schimbare în a treia poziţie a unui codon de trei litere pe şirul de ARN mesager adesea nu schimbă aminoacidul pentru care face codificarea. De exemplu, CUU, CUC, CUA şi CUG sunt toţi codoni pentru aminoacidul numit leucină. De aceea, orice mutaţie pe a treia poziţie va duce tot la producerea leucinei, în timp ce mutaţiile în prima şi în a doua poziţie (C şi U) ar da ribozomului instrucţiunea de a construi un alt aminoacid în proteină. Aceste substituţii „sinonime" în a treia poziţie a codonului sunt observate mult mai adesea decât substituţiile „nesinonime" din prima şi a doua poziţie.

O demonstraţie şi mai elocventă a diferenţei de viteză între secvenţele care codifică şi cele care nu codifică este oferită de secvenţele fosile din genom denumite pseudogene. Unele gene, cândva active, pot deveni „gene moarte", datorită mutaţiilor din secvenţele învecinate ce controlează transcrierea. Aceste pseudogene continuă să se multiplice de la o generaţie la alta, dar nu mai codifică proteinele şi de aceea nu au efect semnificativ asupra organismului. De exemplu, au fost identificate mai multe pseudogene ale hemoglobinei. Astfel este posibil să fie comparate ratele mutaţiilor din genele hemoglobinei şi din pseudogenele hemoglobinei potrivind secvenţele din diferite specii, ca oamenii şi caii. În multe astfel de comparaţii, pseudogenele au fost supuse unui număr de mutaţii de cinci ori mai mare decât genele funcţionale.

Se crede că majoritatea mutaţiilor se datorează erorilor de copiere din timpul procesului de multiplicare a celulelor reproductive. Deci s-a postulat că evoluţia moleculară ar trebui să decurgă mai repede la specii precum rozătoarele, la care generaţiile trăiesc mai puţin şi se reproduc mai frecvent decât speciile ce trăiesc mult, ca oamenii şi elefanţii. Totuşi, în ciuda cantităţii considerabile de muncă pentru a confirma sau a infirma acest efect generaţii-timp problema este încă nerezolvată. De asemenea, deoarece celulele reproductive masculine trec prin mai multe multiplicări decât ovulele (celulele reproductive feminine), a fost emisă ipoteza că masculii contribuie cu mai multe mutaţii la rezerva de gene decât femelele. Dar dovezile care susţin şi cele care contestă această ipoteză nu sunt nici ele definitive.

Este posibil ca aceleaşi gene să evolueze cu aceeaşi viteză în grupuri diferite ale organismului? Aceasta a fost una dintre întrebările cele mai frecvente din dezbaterea aflată în desfăşurare asupra ceasului molecular, în ultimele trei decenii, şi este departe de a fi complet clarificată. Cele două puncte de vedere extreme au fost reprezentate de Morris Goodman şi Allan Wilson. Goodman şi colegii săi de la Universitatea de stat din Wayne au negat un timp îndelungat existenţa vreunui fel de rată regulată a mutaţiilor în perioade lungi de timp. Spre deosebire de cel din urmă, Allan Wilson de la





JOS A existat o dezbatere continuă și aprinsă asupra preciziei ceasului molecular. Dezbaterea continuă, iar întreaga zonă rămâne un câmp activ de cercetare.

Universitatea din Berkeley, California, susţinea existenţa unui ceas universal al substituţiilor sinonime, care este aproape acelaşi la toate organismele vii.

Aşa cum se întâmplă adesea, adevărul pare să se afle undeva între cele două puncte de vedere opuse. În general, se pare că există nişte rate destul de consistente ale mutaţiilor pentru genele omologe şi pentru ADN-ul necodificat, dar cu multe excepţii observate în anumite descendenţe. De exemplu, ADN-ul rozătoarelor pare să evolueze mai rapid decât cel al primatelor. La primatele hominide, ADN-ul evoluează probabil ceva mai lent decât ADN-ul maimuţelor, iar ADN-ul uman are poate cea mai lentă evoluţie. Acesta rămâne un câmp de cercetare activ.

Oricare ar fi ratele mutaţiilor, numărul diferenţelor mutaţionale dintre două specii creşte întotdeauna odată cu trecerea timpului. Această diferenţă moleculară este adesea singurul indicator al timpului scurs de la desprinderea dintr-un strămoş comun, mai ales la organismele ca bacteriile, pentru care nu există înregistrări fosile, sau la care înregistrările sunt prea puţine. Într-o anumită descendenţă cum este cea a carnivorelor, sau pentru o moleculă dată cum este hemoglobina, ratele de schimbare par să fie destul de consistente pentru a putea justifica realizarea arborilor genealogici având drept coordonate estimări de timp. Este utilă folosirea mai multor ceasuri moleculare diferite şi dacă sunt realizate nişte estimări medii.

În consecinţă, conceptul de ceas molecular a îmbogăţit şi a clarificat foarte mult cunoştinţele noastre asupra intervalelor de timp în care Arborele Vieţii şi-a ramificat multele sale ramuri.



VIAȚA MULTICELULARĂ

Ceasurile moleculare datează originea animalelor multicelulare aproximativ acum 720 de milioane de ani, deși prima apariție a fosilelor lor este în rocile perioadei vendiene de la sfârșitul Precambrianului, acum circa 600 de milioane de ani.

Acest debut multicelular s-a produs cu 50 de milioane de ani înaintea marii explozii din Cambrian a formelor de viață metazoare. Într-o perioadă de numai 10 milioane de ani – o clipă geologică – au apărut 20-30 din regnurile moderne și au apărut alte peste 50 de noi ordine: bureții, moluștele, viermii plați, viermii inelati, trilobiții și o varietate de creaturi cu corpul moale și segmentat, multe dintre ele dispărute acum.

Comparațiile moleculare atestă că toate formele multicelulare diferite care se mai găsesc pe Pământ au apărut dintr-un sigur strămoș comun. O caracteristică moleculară definitorie a metazoarelor este proteina numită colagen. Acesta are o structură de triplă elice, formează fibre lungi, asemănătoare unor frânghii și este un principiu component al bureților, scoicilor, al pielii, oaselor și dinților. Colagenul este un factor important în formarea părților tari ale corpului, precum cochilia, fălcile și scheletul.

Acum circa o jumătate de miliard de ani a fost stabilită organizarea corpului a majorității tipurilor de animale care trăiesc azi. Complexitatea lor tot mai mare este reflectată de creșterea dimensiunii genomului, de la patru milioane de perechi de bază la bacterii (4000 de gene) la 15 milioane la eucariotele unicelulare de tipul drojdiei (6000 de gene), 100 de milioane la viermii nematozi (13000 de gene) și 3000 de milioane la șoareci și la oameni (80000 de gene).

Totuși, în gama amețitoare de noi morfolgii care au apărut în Cambrian, mecanismele genetice moleculare au rămas în mod surprinzător aproape neschimbate. Deși organismele erau mai mari, aveau membre și sisteme nervoase și găseau noi moduri de a se hrăni, cele mai multe sisteme de semnalizare bacteriene, procese de transcriere și gene pentru proteinele structurale continuau să funcționeze ca la procariote – organismele care au apărut primele pe Pământ.

Cimpanzeul
Materialul genetic al cimpanzeului diferă în proporţie mai mică de 1% de al nostru.

Gorila
Materialul genetic al gorilei este în proporţie de 99% la fel cu al nostru.

Omul
Similaritatea din materialele genetice arată că noi, oamenii, trebuie să fi evoluat din acelaşi strămoş ca şi cimpanzeii şi gorilele.

STÂNGA **În ciuda aspectului nostru foarte diferit, suntem mai înrudiţi cu cimpanzeii şi gorilele decât ne-ar plăcea să credem. Materialul nostru genetic este aproape identic, iar cimpanzeii au mult mai multe în comun cu noi decât alte maimuţe primate – urangutanii, babuinii şi gibonii.**

MAIMUŢELE ANTROPOIDE ŞI OAMENII

Una dintre primele aplicaţii ale conceptului de ceas molecular – o aplicaţie care care a divizat comunitatea antropologilor în facţiuni aflate în luptă – a fost cercetarea lui Vincent Sarich şi a lui Allan Wilson, care a indicat că oamenii şi maimuţele antropoide s-au desprins de curând dintr-un strămoş comun.

Folosind o tehnică imunologică ce a fost şi mai sensibilă şi mai cantitativă decât cea folosită de Nuttall la începutul secolului, Sarich şi Wilson au comparat albumina umană cu cea a maimuţelor antropoide africane (cimpanzeul şi gorila), a maimuţelor antropoide asiatice (urangutanul şi gibonii) şi a altor primate (mai ales maimuţe din Lumea Veche şi din Lumea Nouă).

Ei au descoperit că albuminele oamenilor, cimpanzeilor şi gorilelor erau aproape identice, cu diferenţe de un procent în cazul fiecărei perechi. Albuminelele urangutanilor şi ale gibonilor aveau diferenţe de două ori mai mari decât ale celorlalte trei (circa două procente), adică decât cele ale trioului om-cimpanzeu-gorilă unul faţă de altul. Albuminele acestor cinci hominizi erau cu circa cinci procente diferite de cele ale maimuţelor din Lumea Veche, cum sunt babuinii.

Înregistrările fosile arătau că maimuţele antropoide şi maimuţele din Lumea Veche derivaseră dintr-un strămoş comun acum circa 30 de milioane de ani. Deci, presupunând că albumina, ca alte proteine, a fost supusă unei rate constante a schimbării, trebuia să fi trecut 30 de milioane de ani pentru a se produce schimbări de şase procente. De aceea, diferenţa de un procent dintre albuminele omului, cimpanzeului şi gorilei ar fi trebuit să se producă în a şasea parte din cele 30 de milioane de ani – adică în cinci milioane de ani.

Aşa încât Sarich şi Wilson au tras concluzia că oamenii, cimpanzeii şi gorilele aveau un strămoş comun african care a trăit acum cinci milioane de ani. Această concluzie a provocat o furtună de proteste şi dezbateri care au continuat timp de peste două decenii. Ea a aruncat noii specialişti ai evoluţiei moleculare împotriva unora dintre paleontologii veterani, care erau convinşi de înregistrările fosile cunoscute de la mijlocul anilor 1960 că primii hominizi păşeau în Asia şi Africa acum 20 de milioane de ani.

UN TEST PENTRU CEASURILE MOLECULARE

Proba A din cazul împotriva ceasurilor moleculare a fost fosila denumită Ramapithecus, găsită în rocile formate acum 20 de milioane de ani, în perioada Miocenului. Maxilarele şi dinţii lui Ramapithecus excavate din siturile din India (Pakistanul de azi) au fost interpretate de cei care le-au descoperit ca fiind asemănătoare cu maxilarele şi dinţii umani. În acel moment nu mai fuseseră descoperite oase ale pelvisului sau ale membrelor acestui hominid din Miocen, dar susţinătorii săi erau atât de încrezători că aparatul dentar era hominid (pe linia umană), încât *Ramapithecus* era de obicei descris în articole şi manuale ca fiind un membru biped al descendenţei umane. Fosile similare au fost descoperite şi în depozitele africane ale Miocenului, iar această descoperire părea să lase deschisă întrebarea dacă omul apăruse în Asia sau în Africa.

Dovezile moleculare ale cercetărilor privind albumina ale lui Sarich şi Wilson implicau că Ramapithecus a trăit înaintea strămoşului comun al oamenilor şi a maimuţelor antropoide africane moderne, de aceea nu putea fi considerat hominid. Paleontologii nu puteau accepta această idee, iar disputele asupra adevăratului loc al lui *Ramapithecus* în evoluţia hominizilor – şi relaţia sa cu strămoşul comun – s-au aprins destul de tare. Cei mai mulţi paleontologi aveau convingerea de neclintit că Ramapithecus era direct înrudit cu oamenii.

Cele mai multe astfel de dispute din ştiinţă sunt rezolvate prin acumularea mai multor dovezi şi descoperirea unor noi metode de cercetare, iar controversa legată de Ramapithecus nu a făcut excepţie. Din perspectiva moleculară, s-au adunat rapid date care arătau că şi moleculele proteice, în afară de albumină, precum şi ADN-ul, confirmau relaţia apropiată de rudenie dintre oameni şi maimuţele antropoide africane. Acest lucru implica desprinderea speciei mai degrabă cu cinci milioane de ani în urmă decât acum 20 de milioane de ani.

Chiar şi datele paleontologice susţineau acest punct de vedere. Fosilele primilor hominizi, australopitecii din estul şi sudul Africii care au trăit cu circa patru milioane de ani în urmă, seamănă anatomic cu cimpanzeii ca dimensiune a creierului şi a corpului, sugerând existenţa unui strămoş maimuţă antropoidă în trecutul nu prea îndepărtat. În final, alte fosile osoase de cranii şi membre ale lui *Ramapithecus* au fost descoperite în Pakistan. Oasele craniene includeau dinţi diferiţi şi de ai oamenilor moderni şi de ai maimuţelor antropoide moderne, iar membrele indicau mai degrabă o maimuţă antropoidă ce trăia în copac decât un om biped.

Astfel, erau susţinute predicţiile asupra ipotezei ceasului molecular. *Ramapithecus* s-a dovedit a nu fi un hominid, iar fosilele hominizilor datate acum cinci milioane de ani semănau mai mult cu maimuţele antropoide africane decât cu orice alte primate.



Babuinul
Babuinii şi alte maimuţe pot semăna cu maimuţele antropoide, dar din punct de vedere genetic sunt foarte diferite.

Gibonul
Deşi sunt maimuţe antropoide, gibonii nu sunt pentru noi rude directe, aşa cum sunt gorilele şi cimpanzeii.

DREAPTA **Babuinii şi alte maimuţe din Lumea Veche sunt descendenţii unor strămoşi comuni ai maimuţelor antropoide şi ai oamenilor – dar acum nu sunt direct înrudite. Pentru o maimuţă antropoidă, ideea că ar putea fi înrudită cu o maimuţă obişnuită cu coadă ar fi probabil la fel de tulburătoare cum este pentru noi ideea că suntem înrudiţi cu maimuţele antropoide.**

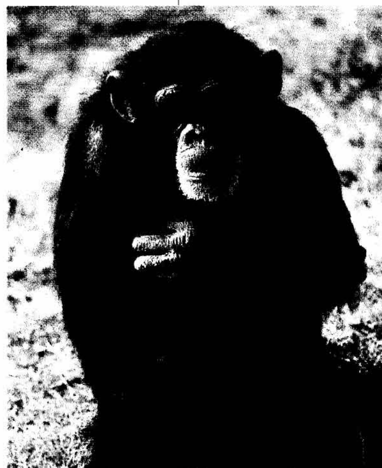


ADN-UL MITOCONDRIAL: UN CEAS RAPID

În celulele animalelor şi ale plantelor se găsesc multe organite mici, numite mitocondrii, care servesc drept surse de energie pentru celulă, stimulând oxidarea carbohidraţilor, care joacă rolul de combustibil. Strămoşii mitocondriilor au fost bacteriile care au intrat într-o relaţie simbiotică cu celelulele eucariote, acum peste un miliard de ani. Genomul mitocondrial este separat de genomul nuclear şi s-a descoperit că este supus mutaţiilor de cinci-zece ori mai des decât în cazul mediei corespunzătoare genomului nuclear. De aceea, poate fi folosit drept ceas rapid pentru a măsura evenimentele evolutive recente.

Genomul mitocondrial al unui mamifer este alcătuit dintr-o moleculă de ADN cu şir dublu circular, asemănătoare ADN-ului bacterian, având lungimea de circa 16000 de perechi de bază. ADN-ul mitocondrial (mtDNA) este transmis exclusiv pe linie maternă la cele mai multe specii deoarece mitocondriile se află în citoplasmă. Spermatozoidul aproape că nu are citoplasmă, fiind în principiu un nucleu celular propulsat de un flagel în formă de bici, astfel că toate mitocondriile zigotului fertilizat sunt provenite din ovulul matern. Şi, deşi ADN-ul mitocondrial este alcătuit din circa 37 de gene, aceste secvenţe de gene nu se recombină în modul în care o fac genele nucleare, deoarece nu există gene paterne de ADN mitocondrial cu care să se recombine. Aşa că ADN-ul mitocondrial rămâne neschimbat pe linia maternă de la o generaţie la alta, cu excepţia mutaţiilor. Este foarte posibil ca un individ să aibă ADN-ul mitocondrial identic cu cel al stră-stră-bunicii sale, în timp ce toate cele circa 70000 de gene nucleare ar fi amestecate, în urma contribuţiei progenitorilor (părinţilor) feminini şi masculini ale generaţiilor intermediare.

Deoarece ADN-ul mitocondrial evoluează relativ rapid, dar nu se recombină, s-a dovedit util în definirea subpopulaţiilor geografice umane, dar şi a multor alte specii de plante şi animale. În particular, studiile ADN-ului mitocondrial al diferitelor rase umane au oferit cele mai concludente dovezi din prezent despre apariţia speciei umane moderne *Homo sapiens*.





LEGĂTURA LIPSĂ



CE MAIMUŢĂ ANTROPOIDĂ ESTE RUDA NOASTRĂ CEA MAI APROPIATĂ?

Primele dovezi moleculare din imunologia proteică şi din secvenţele de proteine nu au putut să determine cea mai apropiată relaţie de înrudire dintre oameni, cimpanzei şi gorile. În anul 1984, această problemă a fost abordată de către ornitologii Charles Sibley şi Jon Ahlquist, care au folosit hibridizarea ADN-ului pentru a clarifica relaţiile dintre păsări. Sibley şi Ahlquist au hibridizat ADN de la oameni, două specii de cimpanzei, gorile, urangutani, giboni şi babuini. Rezultatele lor au fost exprimate ca diferenţe în temperaturile de topire ale hibrizilor de ADN între oameni şi alte primate. Temperatura de topire a ADN-ului pentru om-cimpanzeu a fost cea mai scăzută, la 1,8, în timp ce hibridul cu gorilă a fost de 2,4, cu urangutan de 3,6, cu gibon de 5,2 şi cu babuin de 7,7. Numerele sunt aproximativ egale cu diferenţele procentuale ale secvenţelor dintre specii.

Aceste experimente au demonstrat cu claritate că rudele noatre cele mai apropiate aflate în viaţă sunt cimpanzeii, o relaţie consistentă cu anatomia asemănătoare cimpanzeului a primilor hominizi cunoscuţi. Este consistentă şi cu observaţiile asupra comportamentului maimuţelor antropoide, mai ales cele efectuate în studiile de pionierat ale lui Jane Goodall asupra cimpanzeilor din Gombe, Tanzania, şi cu observaţiile ulterioare făcute de primatologii japonezi Toshisada Nishida şi Tokayoshi Kano pe specia rară de cimpanzeu pigmeu. Abilitatea acestor maimuţe antropoide de a crea şi de a folosi unelte, de a comunica prin

STÂNGA **Ani întregi, evoluţioniştii au căutat legătura lipsă dintre maimuţele antropoide şi oameni. Ei credeau că au identificat-o sub forma lui Ramapithecus, dar studiile moleculare au eliminat această idee.**

SUS **Nu suntem descendenţii cimpanzeilor, deşi suntem rude apropiate cu ei. Suntem variaţiuni pe aceeaşi temă, având strămoşi comuni, care au păşit pe Pământ acum circa cinci milioane de ani.**



SUS **Rămăşiţele fosile ale primilor hominizi sunt puţine şi derutante, deoarece sugerează existenţa mai multor specii diferite una după alta în trecutul îndepărtat. Rămăşiţele lor fragmentate ne spun foarte puţine despre relaţiile dintre ele şi nu conservă ADN-ul, care ar putea lămuri disputele.**

gesturi foarte asemănătoare cu gesturile oamenilor şi de a menţine relaţii sociale apropiate au dezvăluit că multe caracteristici pe care le credeam a fi exclusiv ale oamenilor aparţin şi acestor rude hominide, care au în comun cu noi şi peste 98 la sută din gene.

În anumite privinţe, relaţia de înrudire dintre oameni şi cimpanzei contrazice bunul simţ, deoarece cimpanzeul şi gorila seamănă mai mult între ele decât seamănă vreuna dintre ele cu omul modern. Dar numeroase studii suplimentare ale ADN-ului au confirmat legătura cimpanzeu-om. Acest lucru sugerează cu tărie că strămoşul comun al cimpanzeilor şi al oamenilor a fost o maimuţă antropoidă patrupedă, care însă mergea cu degetele membrelor superioare îndoite către palmă (knuckle-walking), un mers foarte asemănător cu cel al cimpanzeului. Cel mai vechi hominid posibil din Aramis, Middle Awash, Ethiopia este datat acum circa 4,4 milioane de ani. Fosilele lui nu erau complet descrise la momentul scrierii cărţii, dar rapoartele preliminare arată o similaritate remarcabilă între dinţii celui mai vechi hominid şi dinţii cimpanzeului pigmeu.

În mod inevitabil, descoperirile şi metodele lui Sibley şi ale lui Ahlquist au fost întâmpinate cu criticism de către antropologii care presupuneau, din diferite motive, că relaţia de înrudire cea mai apropiată era cea cimpanzeu-gorilă sau om-gorilă. Exista o cantitate considerabilă de resentimente în anumite cercuri ştiinţifice privind faptul că misterul de durată din evoluţia umană fusese rezolvat, sau se susţinea că fusese rezolvat de către ornitologi, care ştiau foarte puţine sau absolut nimic despre primate. Sentimentele savanţilor asupra subiectului erau atât de puternice încât Sibley şi Ahlquist au fost acuzaţi de falsificarea datelor ştiinţifice de către mai mulţi antropologi proeminenţi. Iată că evoluţia umană stârneşte emoţii violente, chiar printre cei dedicaţi studierii ei!

Când au fost efectuate hibridizări independente ale ADN-ului hominizilor (de data asta de către entomologi) rezultatele au fost identice celor ale lui Sibley şi Ahlquist: oamenii şi cimpanzeii erau rudele cele mai apropiate, iar gorilele erau rude mai îndepărtate ale amândurora. Apoi, peste o duzină de comparaţiii ale secvenţelor de ADN făcute de cercetători independenţi au indicat acelaşi tip de înrudire. Din punct de vedere statistic, aceste date dau o probabilitate mai mare de 99 la sută ca legătura dintre oameni şi cimpanzei să fie corectă.



Deşi Lucy era bipedă, creierul ei nu era mai mare decât al unei maimuţe antropoide.

Braţele lui Lucy erau lungi, ca ale unei maimuţe antropoide, iar ea avea înălţimea de numai 130 cm.

Pelvisul ei era asemănător celui al omului modern – dovadă clară că mergea în poziţie bipedă.

STÂNGA **Descoperit în anul 1974 în Etiopia, acest schelet de hominid femelă a demonstrat că strămoşii noştri erau bipezi cu peste trei milioane de ani în urmă. Denumită Lucy, ea este unul dintre primii australopiteci – linia de hominizi care a precedat adevăraţii oameni ai genului *Homo*.**

EVOLUŢIA VERTEBRATELOR

Primele vertebrate, peştii fără maxilare, au apărut în Ordovician, acum circa 450 de milioane de ani. Peştii-panglică şi mrenele sunt relicvele vii ale acestor forme de viaţă străvechi, iar mrene aproape identice celor ce trăiesc în prezent au fost găsite în marnele cu fosile ale Devonianului, acum 350 de milioane de ani. Peştii cu maxilare bine articulate s-au înmulţit şi în timpul Devonianului, iar pentru prima dată au apărut oasele adevărate, oferind suport mai rigid decât scheletele cartilaginoase ale peştilor şi ale rechinilor fără maxilare.

Unii dintre aceşti peşti aveau aripioare cărnoase, musculoase, care erau precursoarele picioarelor. Alţii aveau un sac intern cu aer, denumit vezică înotătoare – tot o caracteristică a celor mai mulţi peşti osoşi – iar la peştii dipnoi sacul a evoluat într-un plămân primitiv cu care să respire. Aceste adaptări erau – aproape la propriu – primii paşi către părăsirea mării şi viaţa pe uscat. Determinarea exactă a peştilor care au făcut această tranziţie este subiectul multor dezbateri, unii experţi fiind în favoarea peştilor dipnoi, iar alţii susţinând strămoşii peştelui coelacant, un peşte primitiv cu aripioare cărnoase şi schelet predominant cartilaginos. Ca şi în cazul atâtor alte controverse, cercetările moleculare au ajutat la clarificarea problemei, deoarece comparaţiile multor gene arată că peştii dipnoi sunt cei mai probabili candidaţi.

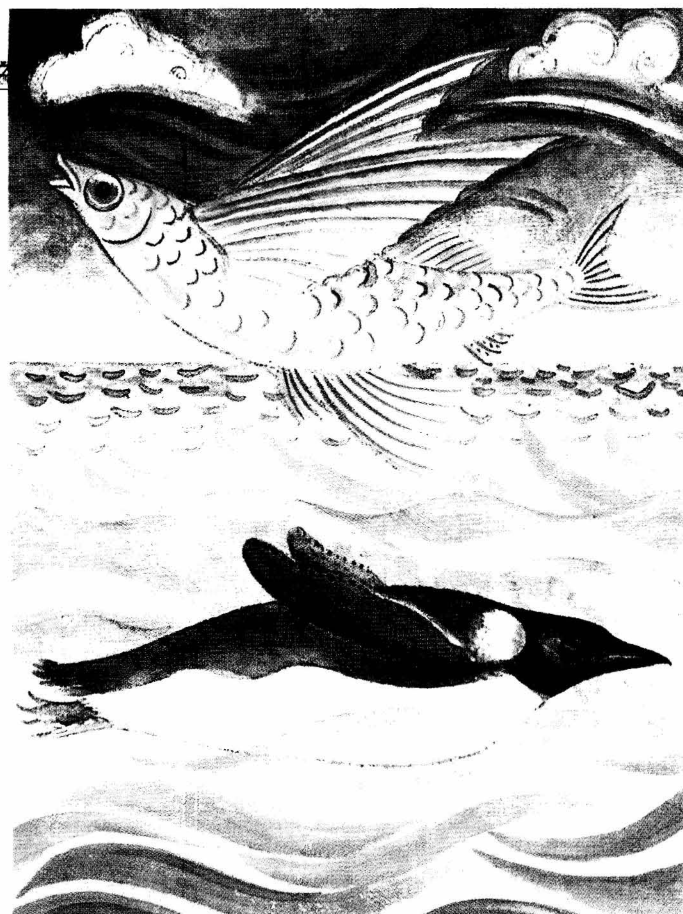


SUS Tuturor vertebratelor de uscat, de la broaşte şi şopârle la vulturi şi elefanţi, li se poate determina ascendenţa până la formele primitive de peşti. Încă purtăm în organism rămăşiţele branhiilor, sub forma micilor oase pe care le avem în urechea internă.









STÂNGA **Mezozoicul este era cea mai cunoscută, datorită dinozaurilor care au dominat planeta în acea perioadă. Totuși, existau și multe plante, păsări, mamifere și insecte, pe care le putem încă recunoaște în prezent.**

SUS **Organizarea corpului vertebratelor s-a demonstrat a fi unul dintre cele mai adaptive produse ale evoluției, capabil de transformări extraordinare în niște ființe atât de neobișnuite cum sunt peștii zburători și păsările care „zboară" sub apă.**

Primele vertebrate de uscat au fost amfibienii, care, având plămâni, picioare, pielea groasă și scheletele solide, puteau supraviețui perioade îndelungate pe uscat – deși trebuiau să se întoarcă în apă pentru a-și depune ouăle. Ele au prosperat în Permian, acum 250 de milioane de ani. Începutul Triasicului, cu 25 de milioane de ani mai târziu, a marcat începutul Mezozoicului – eră denumită Epoca Reptilelor datorită dominației dinozaurilor. În timpul acestei epoci au apărut pentru prima dată păsările, mamiferele, plantele cu flori și multe dintre insectele moderne. Aceste specii au supraviețuit marii extincții de la sfârșitul Cretacicului, acum 65 de milioane de ani. Când au dispărut dinozaurii, mamiferele au preluat treptat conducerea și acum sunt vertebratele dominante de pe uscat în toată lumea.



ADN-UL DINOZAURILOR

na dintre întrebările cele mai persistente ale prezentului este dacă păsările sunt descendenţii dinozaurilor. Cei mai mulţi paleontologi aşa cred şi, desigur, unii contestă ideea. Din nefericire, nu avem la dispoziţie dinozauri vii, aşa încât nu putem compara direct ADN-ul şi proteinele păsărilor şi ale dinozaurilor. Dacă am putea extrage ADN şi molecule de proteine din fosile, ne-am putea extinde foarte mult cunoştinţele despre speciile existente şi cele dispărute.

Filmele din seria *Jurassic Park* înfăţişează dinozaurii ca fiind re-creaţi din ADN-ul fosil. Scriitorul Michael Crichton dezvoltă un scenariu ingenios, în care ţânţarii care s-au hrănit cu sânge de dinozaur au fost conservaţi în chihlimbar, făcând posibil ca savanţii moderni să extragă şi să cloneze ADN-ul dinozaurilor. Crichton şi-a bazat romanul pe rapoartele ştiinţifice privind extragerea ADN-ul identificabil din insectele prinse în chihlimbarul vechi de milioane de ani. Dar oare poate ADN-ul să supravieţuiască atât de mult timp?



În mod sigur, au fost identificate molecule fosile. Prima, în anul 1980, a fost albumina din muşchiul unui pui de mamut siberian îngheţat, numit Dima. Albumina a fost analizată printr-o metodă imunologică ultrasensibilă, numită radioimunodozare şi s-a descoperit că diferă de albumina elefantului african şi a celui indian cu un procent. Ceasul molecular al albuminei ticăie cu câte un procent la cinci milioane de ani, deci asta însemna că cele trei specii de elefant – mamutul, elefantul african şi cel indian – au avut un strămoş comun cu cinci milioane de ani în urmă. Mulţi paleontologi au considerat că mamutul este mai înrudit cu elefantul indian, datorită similarităţilor dintre dinţii lor, dar metoda radioimunodozării a arătat că cele trei specii erau echidistante. În consecinţă, radioimunodozarea a fost aplicată cu succes la rămăşiţele a încă două specii dispărute: mastodontul american şi vaca de mare a lui Steller.

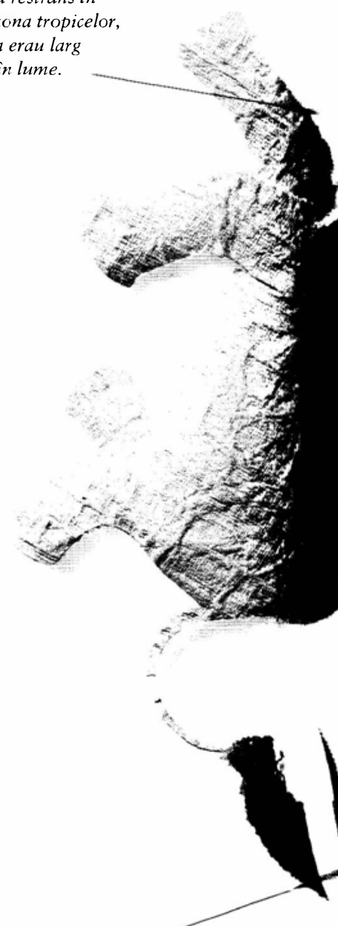
VACILE DE MARE ŞI ELEFANŢII

Vacile de mare sunt cele mai apropiate rude în viaţă ale elefanţilor şi radioimunodozarea a făcut posibilă pentru prima dată construirea unui arbore genealogic molecular ce conţine două specii dispărute de elefant, două specii de elefant existente, o vacă de mare dispărută şi trei vaci de mare existente.

Prima extragere şi clonare cu succes a ADN-ului fosil a avut loc în anul 1984. Materialul genetic a provenit din pielea unui quagga, un membru dipărut al familiei cailor (sau cabalinelor). La începutul secolului XIX, animalele denumite quagga stăpâneau câmpiile Africii de Sud în herghelii mari, la fel ca şi bizonul din America de Nord. Vânătorii i-au măcelărit, fermierii le-au distrus habitatul, iar ultimul quagga a murit la Grădina Zoologică din Amsterdam în anul 1883.

Quagga avea dungi ca zebra pe jumătatea anterioară a corpului şi avea culoarea castanie, ca un cal, pe jumătatea posterioară a corpului. Experţii în evoluţia cailor au propus trei teorii diferite despre relaţia dintre quagga şi alte cabaline, în primul rând pe baza dungilor de pe corp, a oaselor şi a dinţilor. Prima teorie susţinea că ruda cea mai apropiată a lui quagga este calul domestic. Teoria a doua susţinea că ruda sa cea mai apropiată era zebra de câmpie. Teoria a treia enunţa că era la fel de apropiat ca înrudire de toate cele trei specii de zebră africană existente: de câmpie, de munte şi zebra lui Grevy. Acesta este un exemplu clasic al inabilităţii morfologiei de a stabili relaţiile genetice dintre specii.

În anii 1980, misterul reprezentat de quagga a atras interesul a două echipe de cercetători din laboratoare diferite, una dintre ele concentrându-se asupra analizei proteice, iar cealaltă asupra noilor tehnici rafinate de secvenţiere şi amplificare a ADN-ului. Folosind aceste tehnici, o echipă de la Universitatea Berkeley, California, a reuşit să extragă şi să cloneze o mică porţiune de ADN mitocondrial din pielea unui quagga conservată într-un muzeu. În acelaşi timp, altă echipă, de la Universitatea din California, San Francisco, a făcut



Arealul elefanţilor moderni s-a restrâns în prezent la zona tropicelor, deşi cândva erau larg răspândiţi în lume.

Puternicul mamut era adaptat la viaţa din epoca de gheaţă, având un strat gros de păr care să-l ferească de frig.

STÂNGA **Zebră sau cal? Animalul, dispărut acum, denumit quagga, putea fi oricare dintre ele, dar materialul genetic păstrat în pielea lui le-a permis biologilor moleculari să-i determine arborele genealogic şi chiar să sugereze metode de a-l readuce la viaţă.**



Mamutul şi elefanţii moderni au avut un strămoş comun, iar dacă omul nu ar fi şters mamutul de pe faţa pământului, acesta ar mai exista şi în zilele noastre.

SUS **Elefanţii moderni au avut cândva o rudă spectaculoasă: puternicul mamut. Printr-un noroc extraordinar, au fost găsiţi mai mulţi mamuţi conservaţi în permafrostul tundrei siberiene. ADN-ul acestor rămăşiţe a fost folosit pentru a stabili exact în ce mod sunt înrudiţi mamuţii şi elefanţii.**

radioimunodozarea proteinelor extrase din altă piele de quagga. Echipa de studiere a ADN-ului de la Berkeley a comparat ADN-ul de quagga cu cel al altor membri ai familiei calului, iar echipa care a efectuat radioimunodozarea de la San Francisco a făcut comparaţii similare ale proteinelor.

Ambele tehnici au produs arbori genealogici foarte asemănători ale lui quagga şi ale altor cabaline. Rezultatele ambelor echipe susţin a doua teorie – conform căreia ruda cea mai apropiată a lui quagga este zebra de câmpie. De fapt, quagga este atât de apropiat ca înrudire de zebra de câmpie încât cele două animale au fost mai probabil subspecii decât specii distincte. În acest caz, cele mai multe sau toate genele animalului quagga dispărut continuă să trăiască în zebra de câmpie.

Mergând mai departe pe această idee, Muzeul Africii de Sud din Cape Town a instituit un program de încrucişare selectivă, având ca scop aducerea lui quagga din nou la viaţă. animalele supuse încrucişării sunt zebrele de câmpie care seamănă cu quagga, având corpul cu foarte puţine dungi sau fără dungi. Programul de încrucişare a produs până acum patru generaţii, iar aceste animale seamănă foarte mult cu specimenele conservate de quagga. Totuşi, puţini zoologi cred că animalele nou-create sunt destul de apropiate din punct de vedere genetic de quagga şi este încă nesigur dacă va fi posibilă „învierea“ speciei quagga, sau a altor specii dispărute.

Oare dinozaurii vor reveni la viaţă?

Povestea lui quagga are câteva semnificaţii importante. În primul rând, biomoleculele – chiar şi cele străvechi – pot supravieţui în materialele fosile. În al doilea rând, având la dispoziţie tehnicile moderne, aceste molecule pot fi destul de intacte pentru a oferi informaţii despre relaţiile dintre specii. În al treilea rând, atât în cazul organismelor dispărute cât şi al celor care încă mai există, comparaţiile morfologice nu ne dau întotdeauna o imagine corectă asupra relaţiilor genetice dintre specii. În final, metodele moleculare sunt un instrument puternic în studierea genetică a speciilor conservate, a grupurilor de animale care se află în pragul extincţiei şi uneori, ca în cazul lui quagga, pot ajuta la aducerea speciilor la viaţă.

Revenind la *Jurassic Park*, ar fi extraordinar să recuperăm ADN sau proteine de la dinozaur şi să le comparăm cu moleculele păsărilor sau ale altor reptile. Dar până acum nimeni nu a reuşit să recupereze macromolecule identificabile din fosilele de dinozaur, care, desigur, sunt cu cel puţin peste 65 de milioane de ani mai vechi decât rămăşiţele sub-fosile ale animalelor quagga sau chiar ale mamuţilor şi cărora le lipseşte orice fel de ţesut moale. Unii cercetători au raportat recuperarea ADN-ului din insectele conservate în chihlimbar, vechi de 130 de milioane de ani, care le-ar putea plasa în epoca dinozaurilor, dar alţii nu au putut să reproducă aceste rezultate. Aşadar nu este deloc sigur că macromoleculele sunt capabile de supravieţuire un timp îndelungat, chiar şi în chihlimbar.

Totuşi, studiul moleculelor străvechi este încă la un nivel mediu, dacă nu chiar la nivel de început. Tehnicile de detectare şi secvenţiere a ADN-ului şi a moleculelor proteice se îmbunătăţesc continuu şi poate că într-o zi vom recupera material genetic de la dinozauri.



MARY LEAKEY
n. 1913
Mary Leakey este unul dintre cei mai mari paleoantropologi ai secolului XX, faimoasă pentru numeroasele descoperiri de hominizi pe care le-a făcut împreună cu soţul ei. În anul 1976, ea a descoperit urmele tălpilor unui hominid de 3,75 milioane de ani într-un strat de cenuşă vulcanică în Laetoli, Tanzania.

STÂNGA **Descoperirea fosilelor ne-a oferit dovezi că genul Homo se afla în Africa acum 2,5 milioane de ani şi că diferitele specii au migrat apoi în alte părţi ale lumii.**

Originile omului modern

Până în anii 1960, au fost descoperite tot mai multe fosile hominide în Africa de Sud, datorită eforturilor lui Raymond Dart, Robert Broom şi John Robinson. În Africa de Est, Mary şi Louis Leakey tocmai îşi începuseră seria de descoperiri la Olduvai Gorge, Tanzania. În anul 1959, soţii Leakey au descoperit rămăşiţele – inclusiv un craniu – ale lui *Zinjanthropus boisei*. Datarea cu potasiu-argon a stabilit că acest strămoş al omului – primul hominid care a putut fi datat cu certitudine – avea 1,75 milioane de ani. În anul următor, soţii Leakey au mai făcut o descoperire – rămăşiţele altuia dintre primii hominizi, care a devenit cunoscut sub numele de *Homo habilis*, sau „omul îndemânatic". *Homo habilis* este primul hominid care îşi confecţiona unelte şi avea un creier relativ mare. Există dovezi că folosea anumite unelte pentru a tăia pieile şi alimentele şi pentru a-şi construi adăposturi primitive. Aceste descoperiri au stabilit Africa de Est ca posibil loc de naştere al oamenilor.

De atunci, noi descoperiri fosile în mai multe locaţii din Etiopia, Kenya, Tanzania, Ciad, Malawi şi Africa de Sud au dezvăluit existenţa mai multor specii ale primilor hominizi. Toate clasificate în genul *Australopithecus*, datează din perioada de

acum două-patru milioane de ani. Din punct de vedere anatomic, aveau creierul de mici dimensiuni, asemănător creierului cimpanzeilor, dar oasele picioarelor, pelvisul şi amprentele picioarelor indicau că erau bipezi. Nu s-au găsit dovezi pentru existenţa unor hominizi mai vechi de cinci milioane de ani în Africa, iar nicăieri în lume nu au fost descoperite fosile mai vechi de două milioane de ani.

Speciile genului *Homo* au apărut în Africa acum două milioane-două milioane şi jumătate de ani. Fosilele din Java au fost şi ele datate în perioada de acum aproape două milioane de ani; acestea par să aparţină genului *Homo*, deşi specia lor nu este bine determinată. Aceste rămăşiţe atestă că hominizii au migrat din Africa acum aproximativ două milioane de ani şi este posibil să se fi răspândit în mai multe valuri prin Arabia, Gibraltar sau Levant.

Înregistrările fosile şi arheologice din Europa, Asia şi Africa sunt în continuă creştere. Acum 150000 de ani, hominizii acopereau deja o mare parte din Lumea Veche, sub forma a două specii principale, *Homo erectus* şi *Homo heidelbergensis*. În anul 2003, teoriile asupra evoluţiei umane au luat o nouă întorsătură, odată cu descoperirea rămăşiţelor mai multor *Homo floresiensis*, sau Hobbitul. Acest hominid de statură mică, circa un metru, a trăit pe Flores, Indonezia, până acum 12000 de ani.



SUS **Acum trei milioane şi jumătate de ani, doi dintre cei mai îndepărtaţi strămoşi ai noştri au păşit prin cenuşa vulcanică încă moale. Amprentele picioarelor lor, descoperite în anul 1978 la Laetoli, în Tanzania, arată că primii australopiteci aveau deja picioarele adaptate pentru mersul biped.**

DARWIN ŞI EVOLUŢIA UMANĂ

Lucrările lui Charles Darwin au afectat profund studiul speciei umane, din două puncte de vedere. În primul rând, el a sugerat în *Originea Speciilor* că originea omului ar putea fi explicată mai degrabă prin lucrarea naturii decât prin intervenţia divină. În al doilea rând, în lucrarea sa ulterioară, *Descendenţa omului* (1871), a susţinut că originile omului puteau fi detectate în Africa datorită similarităţilor noastre anatomice cu maimuţele antropoide africane – cimpanzeul şi gorila. Deducţiile lui Darwin se bazau pe embriologie comparată şi pe anatomie, deoarece în acea perioadă încă nu fuseseră descoperite fosilele umane din Africa pentru a-i confirma concluziile.



JOS **Punctul de vedere al lui Darwin asupra speciei din care făcea parte era revoluţionar, întrucât nu a acceptat opinia predominantă, conform căreia oamenii erau punctul culminant al evoluţiei.**

Omul de Neandertal

Ramapitecul

STÂNGA **A existat întotdeauna o dezbatere privind originile speciei noastre, iar dezbaterea s-a aprins mai ales când a fost vorba despre relaţia noastră cu omul de Neandertal şi cu ramapitecii. Cercetările moderne ne-au permis să arătăm că acestea sunt specii diferite de a noastră.**

Cine erau oamenii de Neanderthal?

Neanderthalienii erau o populaţie umană separată, care trăia în Europa şi în Asia – dar nu în Africa – încă de acum 100000-30000 de mii de ani. Ei aveau creierul de mari dimensiuni, dar craniile lor erau mai plate şi mai alungite şi aveau arcul supraorbital (zona craniului deasupra căreia care se află sprânceana) mai mare decât cele ale oamenilor moderni. Corpurile lor scunde şi îndesate erau foarte musculoase şi foarte bine adaptate la condiţiile epocii de gheaţă din Europa. Ei îşi confecţionau unelte din piatră, aveau grijă de semenii bolnavi şi neputincioşi şi îşi îngropau morţii.

O chestiune mult discutată în timpul secolului trecut a fost relaţia dintre omul de Neanderthal şi specia noastră, *Homo sapiens*. Unii antropologi cred că omul de Neanderthal este o subspecie anatomic distinctă, *Homo sapiens neanderthalensis*, iar alţii îl privesc ca pe o specie complet separată, *Homo neanderthalensis*. Fiecare interpretare se baza pe aceleaşi fosile, iar până de curând se părea că nu există o cale definitivă de a rezolva această problemă, într-un fel sau în altul.

În anul 1997, Svante Pääbo şi asociaţii săi au aplicat tehnicile paleontologiei moleculare pentru a răspunde la întrebarea privind relaţia noastră cu omul de Neanderthal. Ei au extras ADN mitocondrial din oasele specimenelor originale de Neanderthal descoperite în Valea Neander din Germania în anul 1857 şi le-au comparat cu secvenţele de ADN mitocondrial ale oamenilor din prezent şi ale maimuţelor antropoide. Diferenţa dintre ADN-ul mitocondrial al omului de Neanderthal şi ADN-ul omului modern era mult mai mare decât diferenţele dintre variantele diferite geografic ale oamenilor din prezent, dar arătau că omul de Neanderthal este mult mai apropiat de omul modern decât cimpanzeul.

Din aceste date s-a calculat că ramura genealogică a omului de Neanderthal s-a desprins de cea care a dus la apariţia omului modern acum 500000 de ani. Deoarece toţi oamenii moderni au un strămoş care a trăit acum circa 140000 de ani, be baza acestei secvenţe de ADN mitocondrial, a devenit clar că omul de Neandertal era o specie diferită. Deci analiza moleculelor fosile a ajutat la rezolvarea altei dispute de lungă durată despre gradul de înrudire al unei specii dispărute cu o specie care este încă vie – în acest caz, specia noastră, *Homo sapiens*, „omul înţelept“.

EVA ERA AFRICANĂ?

Când şi unde a apărut specia noastră, *Homo sapiens*? Cercetările moleculare, mai ales studiul ADN-ului mitocondrial, au jucat un rol cheie în rezolvarea dezbaterii dintre cele două ipoteze aflate în competiţie. Deoarece ADN-ul mitocondrial evoluează mult mai repede decât ADN-ul nuclear, serveşte la măsurarea variaţiilor genetice ale oamenilor din prezent şi oferă şi un mod de a data momentul separării lor genetice.

Dezbaterea asupra originilor omului modern a adus în centrul atenţiei două teorii aflate în conflict. Una dintre ele, ipoteza multiregională, a văzut o continuitate între primele populaţii de *Homo erectus* şi *Homo sapiens* în fiecare regiune geografică. Acest model depinde de un proces de evoluţie paralelă pe trei continente, de-a lungul unei perioade de cel puţin o jumătate de milion de ani. Susţinătorii săi îşi bazează teza pe presupusele asemănări anatomice dintre populaţiile existente şi fosilele presupuşilor lor strămoşi. Pe scurt, ei cred că *Homo erectus* african a evoluat în africanii moderni, *Homo erectus* asiatic a dus la apariţia asiaticilor moderni şi *Homo erectus* european la europenii moderni.

Teoria recentă a înlocuirii era o opinie minoritară, susţinută mai ales de paleoantropologul britanic Christopher Stringer. El a emis ipoteza că Homo sapiens a evoluat într-o singură locaţie, cel mai probabil în zona sub-sahariană a Africii, pe baza rămăşiţelor hominizilor al căror craniu seamănă foarte mult cu craniul lui Homo sapiens modern. Această populaţie se credea că a migrat rapid din Africa în toată Lumea Veche şi a dus la extincţia populaţiilor de *Homo erectus* deja existente acolo.

Modelul recent al înlocuirii a fost puternic susţinut de comparaţiile ADN-ului mitocondrial al băştinaşilor africani, asiatici, caucazieni, australieni şi al celor din Noua Guinee. Descoperirile au fost zdrobitoare din acest punct de vedere. În primul rând, variabilitatea observată era de departe cea mai mare la africani, ceea ce arăta că populaţia africană este cea mai veche şi este precursoarea populaţiilor asiatice şi caucaziene. În al doilea rând, ADN-ul mitocondrial uman a

JOS **Specia noastră, *Homo sapiens*, este singura supravieţuitoare din mai multe specii *Homo* care au evoluat de-a lungul timpului. Dovezile moleculare arată că îşi are originea în Africa, acum circa 140000 de ani, s-a răspândit în lume şi şi-a eliminat cumva competitorii, ca *Homo erectus* şi omul de Neanderthal.**

Omul



Eva africană aparţinea unei populaţii înfloritoare, dar moştenirea ei genetică este singura care a supravieţuit.

Moştenirea genetică a tuturor oamenilor care trăiesc azi pe planetă provine din savanele Africii tropicale.

ADN-ul mitocondrial este transmis pe linie maternă, deoarece nu este transmis prin spermatozoizi.

SUS **Rata ridicată, însă stabilă a mutaţiilor ADN-ului mitocondrial a permis specialiştilor în biologie moleculară să ne determine genealogia pe linie maternă până la o Eva africană. Se pare că ea a trăit acum 140000-200000 de ani – o clipă din timpul geologic faţă de istoria de patru miliarde de ani a vieţii de pe Pământ.**

prezentat o variabilitate relativ mică faţă de cel al maimuţelor antropoide, fiind numai circa o zecime din variabilitatea dintre cimpanzei şi urangutani. Acest lucru arăta că specia noastră are o origine recentă.

A fost estimat factorul timp prin compararea ADN-ului mitocondrial al omului modern cu cel al cimpanzeilor şi aplicarea unui ceas molecular. Variabilitatea faţă de cel al africanilor era a douăzecişicincea parte din diferenţa medie între ADN-ul mitocondrial al oamenilor şi cimpanzeilor. A douăzecişicincea parte din diferenţa de cinci milioane de ani dintre om şi cimpanzeu înseamnă 200000 de ani. De aceea, mama mitocondrială a noastră a tuturor, din care provine tot ADN-ul mitocondrial modern cu mici modificări, trebuie să fi trăit în Africa acum circa 200000 de ani. În mod inevitabil, această străbună necunoscută a fost ridicată la rangul de Eva mitocondrială.

Faptul că tot ADN-ul mitocondrial modern provine de la o femeie nu înseamnă că în momentul apariţiei omului exista o singură femeie în viaţă. este foarte posibil ca Eva să fi fost unul dintre multele mii de membri care au trăit de la apariţia speciei noastre, dar ADN-ul ei mitocondrial este singurul care a supravieţuit până în prezent. Ramurile de ADN mitocondrial se pierd atunci când femeile nu au copii, sau când au numai copii de sex masculin, ce nu pot transmite generaţiei următoare ADN-ul lor mitocondrial. Aceste pierderi s-au repetat generaţie după generaţie până când a rămas numai una dintre ramurile genealogice iniţiale.

Ca şi în cazul ADN-ului mitocondrial al femeilor, o parte din cromozomul masculin Y – cromozomul sexului masculin – nu se recombină, dar este transmis neschimbat prin descendenţa masculină. Aproape că nu se observă variaţii în acest segment cromozomial al bărbaţilor din prezent, ceea ce arată că descendenţa cromozomului Y a apărut recent la un singur individ. Desigur, acest ipotetic prim bărbat a fost numit Adam. Analiza cromozomului Y îl plasează pe Adam în Africa acum 100000-200000 de ani, iar ultima estimare a originii lui lui *Homo sapiens*, pe baza secvenţelor din întregul genom mitocondrial, este mai precisă, la circa 140000 de mii de ani.

Peste o duzină de studii independente ale ADN-ului, ale proteinelor şi ale frecvenţei genelor umane confirmă dovada iniţială oferită de ADN-ul mitocondrial că specia noastră a apărut în Africa foarte recent din punctul de vedere al timpului geologic. Toate acestea arată că până la urmă – deşi nimic nu este definitiv în studiul evoluţiei – Darwin a avut dreptate.

PRIVIRE RAPIDĂ ASUPRA BIOLOGIEI

1856

Gregor Mendel descoperă legile statistice fundamentale ale eredității prin cercetările lui asupra plantelor de mazăre comestibilă.

1858

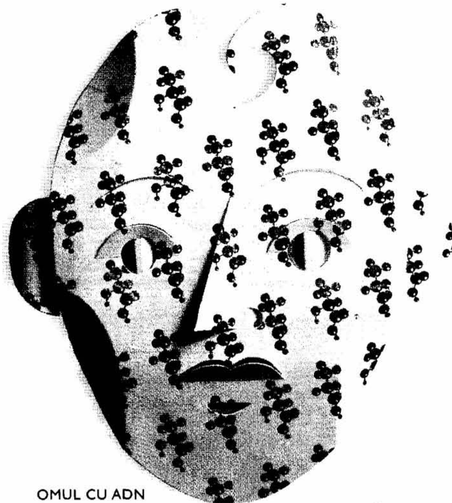
Charles Darwin și Alfred Wallace au propus în mod independent teoria evoluției speciilor prin selecție naturală.



ALFRED WALLACE

1909

Thomas Hunt Morgan arată că transmiterea ochilor albi la musculița de oțet este legată de sex.



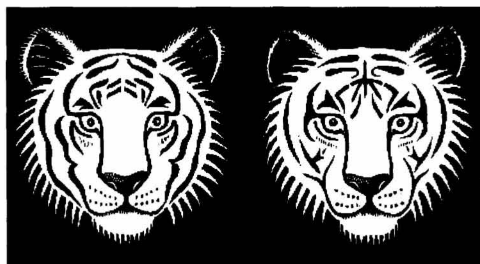
OMUL CU ADN

1952

Alfred Hershey și Martha Chase demonstrează că ADN-ul transportă informații genetice.

1953

Francis Crick și James Watson arată că ADN-ul are o structură de elice dublă.



INDIVIDUALITATE

1954

George Gamow sugerează că bazele de nucleotide de pe ADN pot forma un cod genetic.

1956

George Palade descoperă ribozomul, al cărui ARN este folosit la sinteza proteinelor.

1960

Marshall Nirenberg și J. Heinrich Matthaei descifrează codul genetic al bazelor.

1961

François Jacob și Jacques Monod, împreună cu André Lwoff, descoperă genele cu rol regulator.

1963

C. R. Woese descoperă că ARN-ul ribozomial de la Archaea asemănătoare bacteriilor este foarte diferit de cel al bacteriilor normale.



BALENELE ȘI HIPOPOTAMII

1964

Robert Holley analizează ARN-ul mesager al aminoacidului numit alanină, primul acid nucleic existent în natură care a fost complet analizat.

1965

Emile Zuckerkandl și Linus Pauling observă că numărul aminoacizilor prezenți în secvențele de hemoglobină este proporțional cu timpul ce a trecut de la desprinderea speciei respective dintr-un strămoș comun – ceea ce oferea astfel un ceas molecular.



MAREA DEZBATERE

1967

Nirenberg și Har Khorana termină dicționarul codului genetic.

1972

Charles Sibley și Jon Ahlquist descoperă că multe grupuri de păsări cu aspect asemănător au ADN-uri foarte diferite, arătând că sunt similare deoarece au evoluat adaptându-se în mod similar, nu fiindcă ar avea un strămoș comun.



EVOLUȚIE

1971

Daniel Nathans și Hamilton Smith folosesc enzimele de restricție pentru a desface ADN-ul în lanțuri separate.

1972

Paul Berg îmbină la loc lanțurile de ADN desfăcute prin enzimele de restricție. Acest proces se numește recombinarea ADN-ului și este vital pentru ingineria genetică.

1982

Studiile asupra albuminei maimuțelor antropoide arată că oamenii, cimpanzeii și gorilele au avut un strămoș comun acum cinci milioane de ani.

ORIGINEA SPECIILOR

1996

Se naște Dolly, o oaie din Scoția. Fiind primul mamifer clonat, Dolly nu avea tată, ci a avut două mame. Dolly a devenit faimoasă în lume, dar a murit în anul 2003, la numai șase ani. Sănătatea fragilă a lui Dolly și viața ei scurtă au indicat unele probleme, necunoscute până atunci, legate de clonare.

2003

Pe Flores, o insulă indoneziană, sunt descoperite rămășițele lui *Homo floresiensis*, un hominid înalt de un metru, având aproximativ jumătate din dimensiunile omului modern.



RUDE APROPIATE?

Glosar

Acid – O substanţă care se dizolvă în apă şi formează ioni de hidrogen.

Acid nucleic – ADN sau ARN.

ADN – Acidul dezoxiribonucleic, un polimer natural care transportă informaţii genetice necesare pentru construirea unui organism.

ADN mitocondrial (mtDNA) – ADN-ul conţinut în mitocondrii, care evoluează în timp cu o viteză mai mare, stabilă.

Alcalin (metal) – Metal foarte reactiv, din prima grupă a tabelului periodic.

Alcalină (soluţie) – O soluţie a unei baze în apă, conţinând ioni hidroxid care neutralizează ionii de hidrogen ai unui acid.

Alchimie – O formă primitivă de chimie, bazată mai mult pe magie decât pe ştiinţă.

Algebră – Ramură a matematicii în care sunt folosite simbolurile pentru a reprezenta numerele necunoscute.

Aminoacid – Un compus care conţine un grup amino format din doi atomi de hidrogen legaţi de un atom de azot; 20 de aminoacizi existenţi în stare naturală sunt baza tuturor proteinelor.

Anticorp – O proteină a sângelui care neutralizează corpurile străine, cum sunt agenţii patogeni.

Archaea – Organisme procariote unicelulare primitive, asemănătoare bacteriilor.

ARN – Acidul ribonucleic, polimerul natural care transcrie informaţiile genetice din ADN şi le livrează la locul sintezei proteinelor.

Atom – Cea mai mică particulă a unui element, ce este caracteristică acelui element. Fiecare element are propria structură atomică distinctă.

Australopitec – Un „om-maimuţă" din genul Australopithecus, care a precedat oamenii din genul *Homo*.

Bacterie – Organism procariot unicelular.

Banda lui Möbius – O suprafaţă continuă cu numai o faţă, formată prin răsucirea cu 180° şi unirea capetelor unei benzi (panglici) simple.

Bază – O substanţă care se dizolvă în apă, formând o soluţie alcalină.

Big Bang – Evenimentul în care se crede că au fost create spaţiul, timpul şi materia, acum 16 miliarde de ani.

Big Crunch – O posibilă inversare din viitor a Big Bang-ului.

Calcul diferenţial şi integral – Ramură a matematicii care calculează ratele instantanee de schimbare.

Câmp electromagnetic – Câmpul de forţă din jurul unui electromagnet.

Caracteristică dominantă – O trăsătură moştenită care se manifestă întotdeauna.

Caracteristică recesivă – O trăsătură moştenită care se manifestă numai dacă nu este reprimată de o caracteristică dominantă.

Carbohidrat – Un zahar sau un polimer bazat pe zahăr, ca amidonul sau celuloza.

Catalizator – O substanţă care măreşte viteza unei reacţii chimice fără a fi consumată în reacţie.

Catenare – Legarea atomilor de carbon pentru a forma lanţuri (catene), la fel ca polimerii.

Ceas molecular – Acumularea constantă de mutaţii moştenite în ADN, care poate fi folosită pentru a atribui date evenimentelor evolutive.

Celulă – Unitatea de bază din care sunt alcătuite toate fiinţele.

Centri de răspândire – Locul în care se formează crusta oceanică.

Chimie organică – Chimia compuşilor carbonului.

Chiralitate – Capacitatea unei molecule de a exista sub două forme, care sunt imagini în oglindă şi au proprietăţi diferite.

Cinetic – Având legătură cu mişcarea.

Citoplasmă – Conţinutul celulei, ce înconjoară nucleul.

Cloroplast – Structură a celulelor plantelor care face fotosinteza.

Cod genetic – Secvenţa de baze din ARN (şi ADN) care se comportă ca un cod pentru construirea proteinelor.

Codon – O secvenţă de trei baze din ARN care instruieşte un ribozom să transforme un anumit aminoacid într-o proteină.

Compus chimic – O substanţă alcătuită din mai multe tipuri de elemente, în care atomi diferiţi sunt legaţi unul de altul într-un raport fix.

Compus covalent – Un compus format din molecule discrete.

Compus ionic – O substanţă ai cărei atomi componenţi sunt ţinuţi laolaltă într-o latice extinsă prin forţe electrostatice.

Cristal – Un solid geometric natural, având o formă care îi reflectă structura atomică.

Cromozom – Structură din celulă care este alcătuită parţial din ADN şi transportă informaţii ereditare.

Cuantă – O unitate a materiei sau a radiaţiei electromagnetice, de obicei vizualizată ca particulă.

Cuarci – Particule care, în grupuri de câte trei, formează protonii şi neutronii.

Datare radiometrică – Aflarea vârstei unei roci folosind viteza de descompunere a elementelor radioactive din proba respectivă de rocă.

Deplasare Doppler – Efectul de „sirenă a poliţiei", când undele propagate de un corp în mişcare au lungimea de undă tot mai mare pe măsură ce corpul se îndepărtează.

Deplasare spre roşu – O deplasare Doppler către roşu în lumina provenită de la o stea îndepărtată, cauzată de îndepărtarea sa faţă de Pământ.

Deriva continentelor – Teoria conform căreia continentele se află în mişcare pe suprafaţa Pământului.

Dualitatea undă-particulă – Comportare paradoxală a luminii, şi ca undă şi ca particulă, care este valabilă pentru toate formele de radiaţie electromagnetică, valabilă chiar şi în cazul materiei.

Ecuaţie – O egalitate a două expresii ce conţin o cantitate necunoscută, x.

Electrodinamica cuantică – O teorie ce descrie şi comportarea undelor şi cea a particulelor radiaţiei electromagnetice.

Electron – Una dintre particulele încărcate negativ ale norului ce înconjoară nucleul atomic.

Element – O substanţă alcătuită din atomi identici (sau, mai precis, din atomi cu acelaşi număr atomic).

Entropie – Gradul de dezordine la care ajung în mod inevitabil toate sistemele.

Enzimă – O proteină care se comportă ca un catalizator pentru o reacţie biochimică.

Eucariot – Un organism ale cărui celule conţin nucleu.

Evoluţie – O schimbare în caracteristicile transmisibile de la o generaţie la alta ale unui organism.

Falie – O fractură în scoarţa Pământului care permite mişcarea scoarţei.

Fisiune nucleară – Divizarea nucleului atomic pentru a forma două nuclee mai mici, proces în care este eliberată energie.

Forţă nucleară slabă – Forţa responsabilă de descompunerea radioactivă.

Fosilă – Rămăşiţă a unui animal sau a unei plante străvechi, păstrată în rocă.

Foton – O particulă sau o cuantă de radiaţie electromagnetică.

Fuziune nucleară – Unirea a două nuclee atomice într-un nucleu mai mare, proces în care este eliberată energie.

Galaxie – Un vast sistem de stele, gaze şi praf ţinute laolaltă de gravitaţie, adesea având formă spirală.

Gamet – O celulă reproductivă, fie spermatozoid (masculin), fie ovul (feminin).

Gaură neagră – Rămăşiţele implodate ale unei stele gigante, atât de densă încât gravitaţia ei împiedică evadarea luminii.

Gaze nobile – Grupul de gaze foarte slab reactive din grupa zero a tabelului periodic.

Gen – O grupare artificială a unor specii aparent înrudite.

Genă – O unitate transmisă genetic, formată de o lungime de ADN.

Gene homeotice (gene hox) – Genele ce determină dezvoltarea şi planul organismului.

Genom – Colecţia completă a genelor dintr-o celulă.

Geometrie – Ramură a matematicii care se ocupă de studiul formelor.

Gigantă roşie – O stea extinsă, gigantică, ce este rece şi roşie.

Gluon – Cuantă a sarcinii de culoare ce leagă cuarcii în nucleoni.

Gravitaţie – Atracţia dintre obiectele care au masă.

Hidrocarbură – Un compus precum metanul, care conţine numai atomi de hidrogen şi de carbon.

Hominid – Orice membru al familiei de primate Hominidae, ce include oamenii şi australopitecii (oamenii-maimuţă).

Imunologia proteinelor – Folosirea anticorpilor la determinarea relaţiilor dintre diferitele specii. Anticorpii specifici unei anumite specii au reacţii variabile faţă de ale altora, în funcţie de similaritatea genetică a speciilor.

Inerţie – Tendinţa naturală a oricărui obiect ce are masă de a-şi continua mişcarea cu aceeaşi viteză dacă asupra obiectului nu acţionează vreo forţă.



Ion – Un atom sau o moleculă care a cedat sau a acceptat unul sau mai mulţi electroni, astfel încât are sarcină negativă sau pozitivă.

Izotop – Diferiţii izotopi ai unui element au diferite numere de neutroni în nucleele lor atomice.

Înregistrare fosilă – Înregistrarea vieţii trecute sub forma fosilelor.

Înregistrare stratigrafică – Înregistrare a evenimentelor geologice păstrată în straturile de rocă.

Lavă – Rocă topită ce erupe la suprafaţa Pământului.

Legătură chimică – O legătură electrostatică între atomi.

Logaritm – Exponentul unui număr, ce indică puterea la care un număr fixat, numit bază (de obicei, 10), trebuie ridicat pentru a obţine un alt număr dat.

Lumină polarizată – Lumina care vibrează numai într-un plan.

Lungimea de undă – Distanţa dintre două puncte identice din modelul unei unde, de exemplu, distanţa dintre două vârfuri consecutive.

Magmă – Roca topită de sub suprafaţa Pământului.

Magnetosferă – Învelişul din jurul Pământului, format de câmpul său magnetic.

Manta – Stratul de 2900 km adâncime din interiorul Pământului, care ocupă spaţiul dintre crustă şi miez.

Masă – Proprietatea unui obiect care îi determină greutatea sub influenţa gravitaţiei. La o gravitaţie redusă, greutatea este mai mică, dar masa rămâne aceeaşi.

Masă atomică – Numărul total al protonilor şi neutronilor din nucleul atomic.

Mecanică cuantică – O teorie ce descrie comportarea materiei, de obicei la scară atomică.

Meioză – Tip de diviziune celulară ce duce la fomarea celulelor reproductive, în care materialul genetic este amestecat prin recombinare.

Metal – O substanţă în care ionii pozitivi sunt legaţi de un grup mare de electroni (sarcini negative) comuni.

Metazoare – Animale multicelulare.

Mineral – Un element sau un compus chimic existent în stare naturală, având o structură internă ordonată.

Mitocondrie – Structura din celulă care transformă zaharurile în energie.

Mitoză – Tipul de diviziune celulară care duce la formarea a două celule identice.

Moleculă – Un grup de atomi legaţi laolaltă într-o unitate discretă, bine definită.

Monomer – Un compus ale cărui molecule pot fi înlănţuite într-un polimer.

Morfologie – Structura şi aspectul unui organism.

Mutaţie – O schimbare a unei secvenţe de ADN moştenite, cauzată de o eroare de transcriere.

Nanotehnologie – Tehnologie la scară moleculară.

Nebuloasă – Un nor interstelar difuz, alcătuit din gaze şi praf.

Neutron – O particulă din nucleul atomic, fără sarcină electrică.

Nucleon – Un proton sau un neutron.

Nucleotidă – Una dintre componentele unui acid nucleic.

Nucleu atomic – Punctul în care este concentrată întreaga masă a atomului, în interiorul unui nor de electroni.

Număr atomic – Numărul protonilor din nucleul atomic.

Număr complex – Un număr scris sub forma x + iy, unde x şi y sunt numere reale, iar i este rădăcina pătrată a lui -1.

Număr întreg – Un număr care poate fi exprimat ca suma sau diferenţa unor numere finite de unităţi, cum sunt 1, 2, 3 etc.

Număr prim – Un număr întreg care se divide numai cu el însuşi sau cu 1, cum sunt numerele 2, 3, 5, 7 şi 11.

Numerele (şirul) lui Fibonacci – Un şir infinit de numere, în care fiecare număr este suma celor două numere precedente: 1, 1, 2, 3, 5, 8 etc.

Organism – Orice lucru viu.

Paleomagnetism – O înregistrare a câmpului magnetic al Pământului, păstrată în rocile străvechi la momentul formării lor.

Pitică albă – Stea mică şi fierbinte, formată prin prăbuşirea unei gigante roşii.

Pitică neagră – O stea moartă care şi-a epuizat toată energia.

Plasmă – O substanţă asemănătoare unui gaz, în care atomii sunt disociaţi în electroni şi ioni.



Polimer – O moleculă cu lanţ lung, formată prin legarea mai multor molecule mai mici.

Procariot – Un organism unicelular fără un nucleu distinct.

Proteină – Un polimer natural al aminoacizilor, care se înfăşoară într-o structură distinctivă.

Proton – O particulă a nucleului atomic care are sarcină pozitivă.

Radiaţii electromagnetice – Forme de undă din câmpul electromagnetic care, în funcţie de lungimea lor de undă, iau forma de unde radio, microunde, infraroşii, lumină vizibilă, ultraviolete, raze X şi raze gamma.

Radioactivitate – Emisia de particule din nucleul atomic în procesul descompunerii radioactive.

Recombinare – Amestecarea informaţiei genetice în timpul creării celulelor reproductive, care duce la formarea unor copii diferiţi de părinţii lor.

Reflexie – Întoarcerea unei unde la întâlnirea unei suprafeţe sau a marginii unui mediu.

Refracţie – Îndoirea unei unde la trecerea prin suprafaţa de separaţie a două medii, datorată diferenţei între vitezele undei în cele două medii.

Ribozom – Locul din celulă unde are loc sinteza proteinelor.

Rocă metamorfică – Rocă ce a fost supusă presiunii şi/sau căldurii puternice.

Rocă sedimentară – Rocă formată din sedimente compactate şi cimentate.

Rocă vulcanică – O rocă formată prin răcirea şi cristalizarea magmei topite.

Sarcină de culoare – Forţa care ţine cuarcii laolaltă.

Selecţie naturală – Teoria conform căreia speciile evoluează prin supravieţuirea celui mai adaptat.

Spaţiu-timp – Continuumul cvadri-dimensional al timpului şi spaţiului, care este curbat de gravitaţie.

Specie – Un tip distinct de organisme. Organismele aceleiaşi specii se reproduc încrucişat în mod natural.

Spectru – Secvenţă de unde cu lungimea de undă aflată în schimbare progresivă. Curcubeul este un spectru al luminii vizibile.

Strat – Un zonă de rocă sedimentară.

Strat de electroni – Un grup de electroni care au acelaşi nivel de energie, ocupând o anumită orbită în jurul nucleului.

Supernovă – O stea explodată.

Taxonomie – Ştiinţa clasificării organismelor existente şi a celor dispărute.

Tectonica plăcilor – Studiul mişcărilor pe scară largă ale scoarţei terestre.

Tectonică de acreţie – Ştiinţa care studiază asamblarea continentelor din fragmentele de crustă continentală.

Teorema lui Pitagora – O teoremă a geometriei, care afirmă că într-un triunghi dreptunghic, pătratul ipotenuzei (latura opusă unghiului drept) este egal cu suma pătratelor celorlalte două laturi.

Teoria coardei – Un concept conform căruia toate fenomenele fizicii cuantice pot fi explicate în termenii undei coardei vibrante.

Teoria haosului – Ramură a matematicii care studiază sistemele haotice sau cele impredictibile.

Teoria numerelor – Studiul numerelor întregi.

Termodinamica – Studiul fluxurilor de căldură.

Terrană – Un fragment de scoarţă continentală care s-a unit cu alte fragmente sau continente având diferite origini.

Topologie – Ramură a matematicii care se ocupă de proprietăţile suprafeţelor care nu se schimbă prin distorsiune.

Trigonometrie – Ramură a matematicii care se ocupă de relaţiile dintre laturile şi unghiurile triunghiului.

Valenţă – Un număr care descrie numărul atomilor de hidrogen cu care se poate combina un atom al unui element.

Vântul solar – O plasmă cu particule încărcate electric emisă de Soare, care ia forma magnetosferei Pământului.

Velocitate – Rata de schimbare a poziţiei în timp, atât din punctul de vedere al vitezei, cât şi din punctul de vedere al direcţiei.

Vertebrat – Un animal cu coloană vertebrală şi schelet intern.

Zero absolut – Zero grade Kelvin (-273°C). Cea mai scăzută temperatură pe care o poate atinge o substanţă, la care atomii săi constituenţi sunt virtual nemişcaţi.

Zigot – Celulă reproductivă fertilizată, formată prin unirea spermatozoidului cu ovulul.

Zonă de subducţie – Zonă înclinată în care o placă a scoarţei terestre alunecă sub altă placă.

Note despre cei care au contribuit la realizarea cărţii

DAVID BAILEY este un scriitor freelancer ce locuişte în Cambridge. Este specializat în chimie şi a scris pe diverse teme din chimie pentru media britanică de popularizare, *New Scientist*, *Science*, CD-ROM-ul *Encarta* şi articole pentru nenumărate reviste de specialitate. Este Contributing Editor al ziarului *Analytical Chemistry* şi are un articol săptămânal în revista *Alchemist*. De asemenea, publică un webzine (o revistă online) – *Elemental Discoveries*. A fost desemnat Young Science Writer of the Year (tânărul autor de articole ştiinţifice al anului) de către *Daily Telegraph* în anul 1992 şi a ocupat locul doi la premiile Chemical Industries Association (Asociaţia Industriilor Chimice) în anul 1995.

RICHARD DAWKINS deţine de curând catedra Charles Simonyi de popularizare a ştiinţei de la Oxford şi este şi Professorial Fellow la New College, Oxford. A scris multe cărţi de succes, printre care: *The Selfish Gene*, *The Extended Phenotype*, *The Blind Watchmaker*, *River Out of Eden* şi *Climbing Mount Improbable*.

Este invitat frecvent la emisiunile posturilor de televiziune şi de radio din Marea Britanie, a ţinut lecturi de Crăciun la Royal Institution în anul 1991 şi a participat la Dimbleby Lecture în anul 1996. Printre premiile şi distincţiile pe care le-a primit se numără premiul Royal Society of Literature, premiul literar al *Los Angeles Times*, medalia de argint a Societăţii de Zoologie din Londra, premiul Michael Faraday al Societăţii Regale din Londra, premiul Nakayama pentru Ştiinţe Umane şi premiul International Cosmos, Osaka, Japonia.

NICK FLOWERS este absolvent al International Space University şi lucrează la Mullard Space Science Laboratory, University College, Londra, unde a studiat pentru doctoratul în fizică spaţială. A câştigat premiul Young Science Writer of the Year al *Daily Telegraph* în anul 1995 şi de atunci a scris articole despre ştiinţa spaţială pentru ziare şi reviste ştiinţifice.

JOHN GRIBBIN este Visiting Fellow în Astronomie la University of Sussex. A scris peste optzeci de cărţi nonfiction şi al mai multe romane SF, fiind mai bine cunoscut pentru scrierile sale din domeniul fizicii cuantice, *In Search of Schrödinger's Cat*, *Schrödinger's Kittens* şi pentru biografia lui Richard Feynman, pe care a scris-o cu Mary Gribbin.

JEROLD M. LOWENSTEIN este profesor de medicină clinică la University of California, San Francisco, şi preşedintele Departamentului de medicină nucleară de la California Pacific Medical Center. El efectuează cercetări asupra evoluţiei moleculare şi a fost pionierul detectării şi analizării moleculelor fosile, muncă ce a furnizat baza romanului şi a filmului *Jurassic Park*. A scris numeroase articole pe teme de biologie, medicină şi evoluţie pentru publicaţii ştiinţifice şi de popularizare.

IAN STEWART este profesor de matematică la University of Warwick. A scris peste şaizeci de cărţi, printre care: *The Magical Maze*, *Figments of Reality*, *Nature's Numbers*, *The Collapse of Chaos – Does God Play Dice?*, *From Here to Infinity* şi *Fearful Symmetry*. În anul 1995, i-a fost decernată medalia Faraday a Societăţii Regale pentru susţinerea popularizării ştiinţei. A ţinut lecturi de Crăciun în anul 1997 la Royal Institution, transmise la postul de televiziune BBC.

PETER WARD este profesor de geologie, profesor de zoologie şi curator de paleontologie la University of Washington, Seattle. Este autorul mai multor cărţi, cum sunt: *On Methuselah's Trail*, *The End of Evolution*, *The Call of Distant Mammoths – What Killed the Ice Age Mammals* şi *Time Machines*. Munca sa a fost prezentată în *National Geographic*, *New York Times*, *Science* şi *New Scientist*, printre altele, iar el are frecvente apariţii în media.

ADRIENNE ZIHLMAN este profesor de antropologie la University of California, Santa Cruz. Cercetările ei asupra evoluţiei umane au implicat multe deplasări în Africa, unde a studiat fosilele umane şi a observat cimpanzeii, gorilele şi maimuţele. Propunerea ei controversată, confrom căreia aproape necunoscutul cimpanzeu pigmeu (*Pan paniscus*) este specia existentă care seamnănă cel mai mult cu strămoşii oamenilor şi ai cimpanzeilor a fost susţinută de cele mai recente descoperiri ale fosilelor umane, care au peste patru milioane de ani vechime. Ea a scris foarte mult şi despre rolul femeilor în evoluţie şi este autoarea manualului larg folosit, *The Human Evolution Colouring Book*.

Mulţumiri

Archiv für Kunst und Geschichte, London: pp.8/90, 12 stânga-medalion, 12 jos (Swiss History of Pharmacy, Basel), 13 dreapta-jos, 14 sus, 51 dreapta-jos, 56 dreapta-sus, 56 jos, 70 sus, 79, 80, 92 jos, 169, 192, 193, 215 (Down House, Kent).

Orsi Battaglia/AKG, London: pp.26 sus, 49 stânga-jos (Museo dell Opera del Duomo, Florence). Eric Lessing/AKG, London: 12 dreapta-medalion (Church of St John, Torun), 51 dreapta-sus (Amlas Castles Coll., Innsbruck).

Bridgeman Art Library: pp.12 stânga-jos, 14 stânga-medalion, 54 dreapta-jos, 152.

e.t.archive: pp.65 dreapta-sus, 87 dreapta-sus.

Natural History Museum, London: pp.206/7.

NASA: pp.89 sus, 90 dreapta-sus, 91, 104 sus, 105 sus, 108, 110 stânga-jos, 110 dreapta-sus, 113, 114, 115.

Science Photo Library: imaginile de pe coperta ediţiei originale, pp.10, 14 sus, 15 sus, 15 medalion, 15 jos, 17 jos, 30 stânga-jos, 34, 40 sus, 41 jos, 45 sus, 46/7, 47, 48 sus, 48 jos, 52/3, 58 stânga-sus, 58 dreapta-sus, 60, 62, 72 sus, 73 stânga-sus, 73 stânga-jos, 73 dreapta, 74 sus, 76, 81 sus, 87 jos, 88 dreapta-sus, 92 stânga-sus, 93 dreapta-sus, 95 sus, 96, 99, 102/3, 107 sus, 107 dreapta-jos, 112, 115, 117 jos, 121 dreapta-medalion, 122 stânga-sus, 129 sus, 129 dreapta, 130, 131, 134 stânga, 134 dreapta-sus, 135, 139, 140, 141, 143, 144 sus, 147 dreapta, 149 dreapta-sus, 151, 156, 159 dreapta-jos, 166/7, 177, 179 dreapta-sus, 181 jos, 185 dreapta-jos, 191 dreapta-sus, 197 dreapta-sus, 205 sus, 205 jos, 210 dreapta-sus, 211 stânga.

Stock Market, London: pp.18/19, 20, 35 dreapta-sus, 44 jos, 59 stânga-jos, 64/5, 74 jos, 84 jos, 108 dreapta, 149 dreapta-sus, 150/1, 155, 158 stânga-sus, 175, 199, 204.

Tony Stone: p.195.

Index